

UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2025

Miloš Šula

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Experimentální ověření rovnoměrného ohřevu kolejnice a návrh sestavy  
pro měření vnitřního pnutí

Diplomová práce

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2024/2025

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Miloš Šula**  
Osobní číslo: **D23445**  
Studijní program: **N0732A260017 Dopravní stavitelství**  
Téma práce: **Experimentální ověření rovnoměrného ohřevu kolejnice a návrh sestavy pro měření vnitřního pnutí.**  
Zadávající katedra: **Katedra dopravního stavitelství**

## Zásady pro vypracování

- Teoretický rozbor
- Grafický návrh zatěžovací sestavy
- Příprava experimentálního měření (sestavení zatěžovací sestavy)
- Instalace snímačů
- Realizace experimentů
- Hodnocení výsledků

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Vnenk P., Culek B.: Measurement methods of internal stress in continuous welded rail, Acta Polytechnica, ČVUT 2017
2. Vlk M. & kol.: Experimentální mechanika, skriptum, VUT Brno 2003
3. Pětioký M.: Metodika hodnocení stavu pružných svěrek Skl14 v provozovaných tratích, disertační práce, UPCE 2020
4. Štech V.: Stanovení maximální podélné síly nutné pro podélné posunutí kolejnice v pružném upevnění Vossloh, diplomová práce, UPCE 2021

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.**

Katedra dopravního stavitelství

Datum zadání diplomové práce:

**9. října 2024**

Termín odevzdání diplomové práce:

**31. ledna 2025**

L.S.

---

**doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.**  
děkan

---

**Ing. Aleš Šmejda, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 9. října 2024

Prohlašuji:

Práci s názvem Experimentální ověření rovnoměrného ohřevu kolejnice a návrh sestavy pro měření vnitřního pnutí jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 13.5.2025

Miloš Šula

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své práce panu doc. Ing. Bohumilu Culkovi, Ph.D. za poskytnutí cenných rad a připomínek, trpělivé vedení a množství času, které této práci věnoval.

Rád bych také poděkoval doc. Ing. Özgüru Yurdakulovi, Ph.D. a Ing. Jakubovi Vágnerovi, Ph.D. za poskytnutí užitečných rad a technickou podporu při přípravě experimentů.

## **ANOTACE**

Cílem této práce je návrh a experimentální ověření vhodného způsobu ohřevu kolejnice tak, aby splňoval podmínky pro následné použití v experimentální sestavě. Sestava musí umožňovat nastavení okrajových podmínek, jako je volný konec, nebo oboustranné vetknutí, a současně zajistit silové namáhání kolejnice ve směru její podélné osy.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Bezстыková kolej, teplota, tenzometr, kolejnice, mechanické napětí, experiment, experimentální sestava, teplotní namáhání, okrajové podmínky, měřicí čidla

## **TITLE**

Experimental determination of uniform rail heating and design of test assembly for internal stress measurement

## **ABSTRACT**

The aim of this work is to experimentally verify and propose a suitable method for heating a rail so that it meets the conditions required for subsequent use in an experimental setup. The setup must allow for the adjustment of boundary conditions, such as a free end or fixed ends on both sides, while also enabling the application of axial loading along the longitudinal axis of the rail

## **KEYWORDS**

Continuous welded rail, temperature, strain gauge, rail, mechanical stress, experiment, experimental setup, thermal loading, boundary conditions, measuring sensors

## **SEZNAM ZKRATEK**

VVCD	Výukové a výzkumné centrum v dopravě
Ek	Experimentální kolejnice
SŽ	Správa Železnic
BK	Bezstyková kolej
LTCAS	Lineární teplotní koeficient zdánlivé deformace

## OBSAH

ÚVOD .....	12
1. Bezstyková kolej .....	14
2. Tenzometrie .....	16
2.1. Druhy Tenzometrů .....	17
2.2. Rezistanční tenzometr .....	18
2.2.1. Konstrukce .....	19
2.2.2. Princip .....	19
2.2.3. Vlastnosti .....	20
2.2.4. Způsoby zapojení do Wheatstoneova mostu .....	23
2.2.5. Mechanismy teplotního ovlivnění .....	27
3. Stanovení vývoje neutrální teploty a mechanického napětí v bezstykové koleji .....	31
3.1. Způsob instalace tenzometrů na kolejnici .....	31
3.2. Způsob měření mechanického napětí v kolejnici .....	33
3.3. Metodika zpracování naměřených hodnot .....	34
3.4. Závěry z terénního měření .....	35
3.5. Experimentální měření .....	36
3.5.1. Zkušební těleso .....	36
3.5.2. Provedená měření .....	38
3.5.3. Zhodnocení výsledků .....	40
4. Experimentální sestava .....	44
4.1. Experimentální Kolejnice .....	45
4.1.1. Materiál experimentální kolejnice .....	45
4.1.2. Úpravy experimentální kolejnice .....	49
4.2. Ohřev kolejnice pomocí elektro – magnetické indukce .....	59
4.3. Ohřev kolejnice pomocí infrazářičů .....	61
4.4. Ohřev kolejnice pomocí odporových topných těles .....	62

4.4.1.	Popis topných těles.....	62
4.4.2.	Elektrické zapojení topných těles.....	62
4.4.3.	Regulace výkonu topných těles.....	63
4.4.4.	Uchycení topných těles na kolejnici .....	67
4.5.	Způsoby odečtu teploty .....	74
4.5.1.	Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574.....	74
4.5.2.	Sestava teplotních sond DS18B20 .....	76
4.6.	Zkoušky ohřevu.....	80
4.6.1.	Požadované vlastnosti a kritéria ohřevu.....	80
4.6.2.	Přehled zkoušek ohřevu .....	82
4.6.3.	Zkouška ohřevu pomocí elektro magnetické indukce.....	85
4.6.4.	Zkoušky ohřevu topných těles .....	87
4.6.5.	Zkoušky prostupu tepla ocelí při jednostranném zahřívání .....	90
4.6.6.	Zkouška ohřevu Ek pomocí soustavy topných těles v kombinaci s infrazářičem .....	96
4.6.7.	Zkoušky ohřevu Ek pomocí infrazářičů.....	112
4.6.8.	Zkoušky ohřevu Ek pomocí soustavy topných těles (měření teploty na povrchu Ek).....	120
4.6.9.	Zkoušky ohřevu Ek pomocí soustavy topných těles (měření teploty uvnitř materiálu Ek) .....	127
4.7.	Instalace tenzometrů.....	147
4.7.1.	Výběr rezistančních tenzometrů a jejich zapojení .....	147
4.7.2.	Umístění tenzometrů na Ek.....	148
4.7.3.	Příprava Ek pro osazení tenzometrů .....	155
4.8.	Příprava experimentální sestavy .....	159
4.8.1.	Hlavní části experimentální sestavy.....	159
4.8.2.	Návrh sestavy upevnění .....	161
4.8.3.	Výroba součástí sestavy upevnění .....	162

4.8.4. 3D model experimentální sestavy .....	162
ZÁVĚR .....	166
DOPORUČENÍ K DALŠÍMU VÝZKUMU .....	167
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	168
SEZNAM TABULEK .....	170
SEZNAM GRAFŮ.....	172
POUŽITÁ LITERATURA .....	175
PŘÍLOHY .....	177

## ÚVOD

Bezстыková kolej se v posledních desetiletích postupně stala standardem v konstrukci železničního svršku. S jejím rozšiřováním roste i potřeba hlubšího porozumění jejímu chování. Výzkum zaměřený na dlouhodobé sledování vývoje vnitřního napětí v koleji může významně přispět nejen k vyšší bezpečnosti provozu, ale i ke snížení nákladů na zřízení a následnou údržbu úseků tratě s tímto konstrukčním řešením.

Problematice nedestruktivního stanovení vnitřního napětí v koleji se ve své disertační práci věnoval Ing. Petr Vnenk, Ph.D. [5], jenž navrhl metodu využívající odporové tenzometry k dlouhodobému sledování deformací kolejnic a odvození jejich mechanického napětí. Jeho práce položila základy pro aplikaci tenzometrie v oblasti dlouhodobého monitoringu mechanického napětí a změn neutrální teploty v koleji. Otevřela také téma laboratorního ověření vhodnosti použití různých druhů tenzometrů na železniční kolejnici a položila důležité otázky pro další výzkum.

Tato diplomová práce na uvedený výzkum přímo navazuje. Jejím cílem je navrhnout a experimentálně ověřit vhodný způsob ohřevu kolejnice tak, aby splňoval podmínky pro použití v experimentální sestavě. Následuje návrh této experimentální sestavy, která umožní ověření chování různých druhů rezistančních tenzometrů při simulaci podmínek působících na kolejnici. Jednak se jedná o silové namáhání ve směru podélné osy kolejnice, ale i namáhání od změny teploty při zajištění různých okrajových podmínek.

První část práce obsahuje stručný úvod do problematiky bezстыkové koleje, kde je popsán její princip, výhody i úskalí. Následující část práce se věnuje tématu tenzometrie, kde je poskytnut vhled do historie této experimentální metody. Následuje přehled různých druhů tenzometrů. Dále se práce zabývá jedním konkrétním druhem, kterým je rezistanční tenzometr. Tento druh tenzometru je využíván v rámci praktické části práce, proto je věnována velká pozornost jeho specifikacím a způsobům zapojení. Poté práce pokračuje rozborem disertační práce Ing. Petra Vnenka Ph.D. [5], Jsou zde popsány detaily týkající se realizace tenzometrických měření v provozované koleji a následné práce s naměřenými daty. Následuje rozbor provedených laboratorních měření, jejichž závěry částečně slouží jako doporučení pro další výzkum.

V další části práce navazuje návrhem experimentální sestavy. Nejprve se zabývá výběrem experimentální kolejnice a popisem úprav, které byly zapotřebí pro její

použití v experimentální sestavě. Dále jsou popsány různé zvažované způsoby zajištění ohřevu kolejnice pro realizaci tepelného namáhání. Výběrem a následným zdokonalováním vhodného způsobu ohřevu experimentální kolejnice se zabývá podstatná část této práce. Bylo toho dosaženo prostřednictvím provádění velkého množství zkoušek, které vyústili v určení nejvhodnějšího způsobu ohřevu a jeho specifikací.

V poslední části se práce zabývá výběrem vhodných tenzometrů a jejich rozmístěním na experimentální kolejnici. Jsou zde také popsány hlavní části experimentální sestavy, včetně postupu při výrobě a provádění úprav vybraných součástí. Na závěr je představen 3D model, který na celou experimentální sestavu poskytuje realistický náhled.

## 1. Bezстыková kolej

Bezстыková kolej je moderním řešením železniční tratě, které eliminuje klasické dilatační styky mezi kolejnicemi. Namísto toho jsou kolejnice svařeny do dlouhých souvislých pásů a pevně uchyceny k pražcům. Tento konstrukční princip přináší celou řadu výhod, jako je plynulejší jízda vozidel, snížení hluku, menší opotřebení kolejnic a kolejových vozidel, a v neposlední řadě i nižší nároky na údržbu dráhy [1], [2].

Tepelné změny během roku ale způsobují roztažnost nebo smršťování kolejnicových pásů. Protože jsou kolejnice upevněny a nemohou volně dilatovat, dochází k akumulaci mechanického napětí. Při vyšších teplotách vzniká tlakové napětí, v zimě se naopak objevuje tahové napětí. Při návrhu bezстыkové koleje je třeba s těmito silami počítat, a to na základě teoretických poznatků o roztažnosti materiálů. Neutrální teplota, tedy teplota, při níž je v kolejnici nulové mechanické napětí, je základním vstupním parametrem při realizaci konstrukce. Právě při této teplotě dochází ke svařování kolejnic a jejich následnému upnutí [3], [4].

Střední části kolejnicového pásu se chovají jinak než jeho konce. Zatímco ve středu dochází pouze ke změnám napětí, na koncích může dojít k prokluzu v upevnění nebo k posunu pražců – tyto úseky označujeme jako dýchající konce. Při extrémních rozdílech teplot mohou tyto konce dosahovat délky až 75 metrů. Vzhledem k tomu, že se jedná o oboustranný jev, je nejkratší možná délka bezстыkové koleje přibližně 150 metrů [1], [5].

Pro realizaci bezстыkové koleje je nezbytné splnit řadu konstrukčních podmínek. Kolejnice musí být z vhodného profilu, například 49 E1, T, 60 E1, 60 E2 nebo R 65, a musí být zachována jejich integrita (celistvost). Pokud se použijí kolejnice z předchozího provozu, je nutné je defektoskopicky zkontrolovat. K upevnění lze použít jak podkladnicové, tak bezpodkladnicové systémy, ovšem s určitými omezeními, například zákazem použití některých typů svěrek [3].

Samotný proces svařování vyžaduje, aby kolejnice byly při svařování plně uvolněné a volně položeny na kluzné podložky. Pokud aktuální teplota kolejnic neodpovídá požadované upínací teplotě, musí být buď ohřáty, nebo mechanicky napnuty. Po dosažení cílové délky, která odpovídá dané teplotě, je možné provést závěrné svary.

V obloucích s malým poloměrem se přistupuje k napínání až při teplotách nad 10 °C, aby se předešlo nežádoucím radiálním silám a vybočení koleje z geometrie [3], [2].

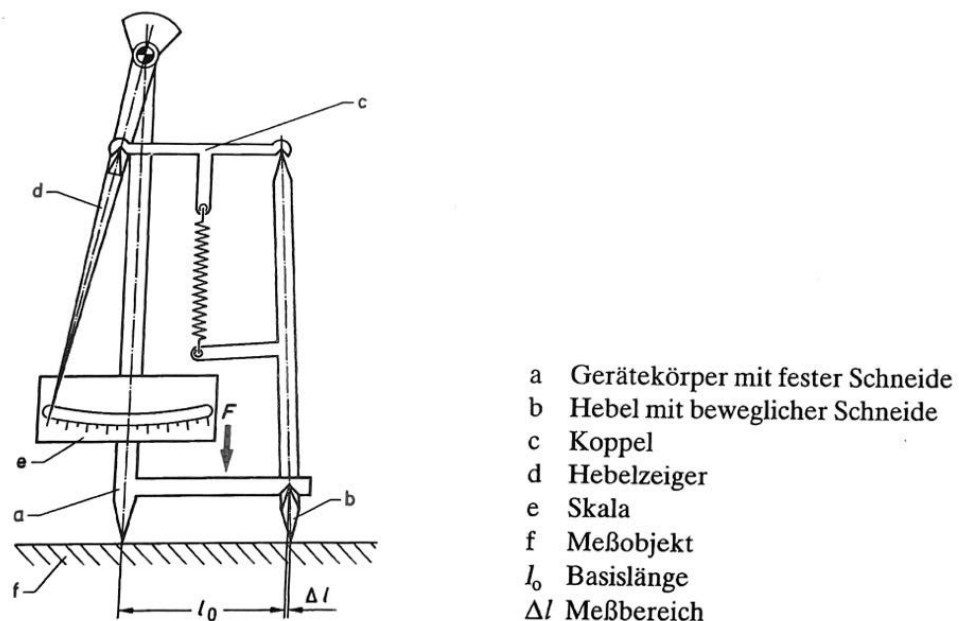
Přestože je BK velmi účinným a bezpečným řešením, není zcela imunní vůči poruchám. Mezi dvě nejčastější poruchy patří křehký lom kolejnice a ztráta stability koleje, což vede k vybočení. Lom vzniká zpravidla v zimě, kdy kombinace velmi nízkých teplot a tahového napětí překročí mez pevnosti oceli. Takový lom je většinou snadno detekovatelný, například přerušením kolejového obvodu [6], [7].

Vybočení je naopak typické pro letní období. Dochází k němu v důsledku nárůstu tlakového napětí a nedostatečné geometrické přesnosti koleje. Pokud teplotní přírůstek překročí tzv. kritickou hodnotu, kolej může vybočit do strany, což může způsobit i vykolejení vozidla. Z tohoto důvodu je při projektování a provozu nutné zajistit, aby kritický teplotní přírůstek byl vždy vyšší než ten reálný [2], [8].

## 2. Tenzometrie

Tenzometrie je experimentální metoda sloužící ke stanovení deformací vznikajících v důsledku mechanického namáhání konstrukčních prvků a materiálů. Na rozdíl od běžných výpočtových metod založených na teorii pružnosti a pevnosti umožňuje měření deformací přímo za provozních podmínek, čímž se zvyšuje přesnost posouzení napjatosti dané konstrukce. Významným přínosem tenzometrie je možnost měření deformací i v místech, kde by konvenční výpočtové přístupy selhávaly nebo by byly zatíženy příliš velkou nejistotou [9].

Historicky byly pro měření deformace využívány mechanické přístroje založené na pákových převodech, například Huggenbergerův tenzometr znázorněn na obrázku č. 1. Tento typ zařízení umožňoval statické měření deformací s vysokým převodovým poměrem (například 1:1000), ale vyžadoval pevné uchycení ke vzorku, byl náchylný na vibrace a neumožňoval kontinuální záznam měřených hodnot. Zásadním omezením těchto mechanických metod byla jejich nepoužitelnost při dynamickém namáhání a nutnost přímého přístupu k měřenému místu [10].



Obrázek 1 Huggenbergerův tenzometr [10, s.2]

K významnému posunu došlo až se zavedením elektrických odporových tenzometrů, které využívají princip změny elektrického odporu vodiče při jeho mechanickém namáhání. Tento jev, známý již od 19. století a popsáný například Williamem

Thomsonem (později Lordem Kelvinem), se stal technicky využitelným teprve ve 30. letech 20. století díky pokroku v elektronickém zesilování signálu [9].

První prakticky využitelná odporová tenzometrická čidla vyvinuli roku 1938 Simmons a Ruge v USA. Jejich konstrukce byla založena na tenkém vodiči nalepeném na podložce, který se deformuje spolu s měřeným objektem [10].

Zavedení rezistančních čidel znamenalo revoluci v oblasti experimentálního zjišťování napětí, neboť umožnilo měřit i velmi malé deformace s vysokou přesností, a to i při dynamickém zatížení. Výhodou těchto čidel je nejen malý rozměr a hmotnost, ale také jejich univerzálnost a možnost aplikace na různé typy povrchů a materiálů [9].

## 2.1. Druhy Tenzometrů

Tenzometry představují různorodou skupinu měřicích zařízení. Pro účely správného výběru měřicí techniky v oblasti experimentálního sledování napětí je nezbytné porozumět rozdílům mezi jednotlivými typy tenzometrů, jejich principům, výhodám a omezením, neboť každý z nich nachází uplatnění v odlišných technických a provozních podmínkách. V následujícím textu budou proto stručně popsány jednotlivé druhy tenzometrů a specifické aspekty jejich konstrukce a funkce, které určují jejich vhodnost pro různé oblasti použití.

**Rezistanční tenzometry** jsou nejrozšířenější skupinou založenou na změně elektrického odporu vodivého prvku při mechanické deformaci. Používají se zejména kovová a fóliová čidla, která vynikají jednoduchou aplikací a širokým rozsahem použití. Typicky jsou součástí Wheatstoneova můstku, což umožňuje přesné vyhodnocení změn deformace [9], [10].

**Polovodičové tenzometry**, které na rozdíl od kovových čidel využívají piezorezistivní jev, díky čemuž dosahují výrazně vyšší citlivosti. Významnou nevýhodou je jejich nelineární odezva, silná teplotní závislost a vyšší cena. Jsou tak vhodné spíše pro specializované aplikace, kde je požadováno měření velmi malých deformací [10].

**Napařované (tenkovrstvé) tenzometry** jsou tvořeny napařením kovové vrstvy přímo na měřený povrch. Umožňují miniaturizaci a přesné měření ve složitých podmínkách. Nejčastěji se s nimi setkáváme v oblasti výroby senzorů a převodníků. V českých zdrojích nebývají běžně zmiňovány [10].

**Kapacitní tenzometry** patří do další skupiny tenzometrů a pracují na základě změny kapacity mezi deskami kondenzátoru vlivem deformace. Výhodou je schopnost pracovat při vysokých teplotách, až do 800 °C. Jsou konstrukčně složitější a používají se především tam, kde běžná čidla selhávají [10].

**Piezelektrické tenzometry** jsou další skupinou tenzometrů. Při mechanickém namáhání generují elektrický náboj, který je úměrný deformaci. Jsou založeny na aktivních materiálech, jako je titanát barnatý nebo křemen. Jejich použití je omezeno na dynamická měření, protože výstupní signál časem samovolně mizí [10].

**Fotoelastické tenzometry** U těchto čidel dochází vlivem napětí ke vzniku izochromatických obrazců v opticky aktivním materiálu. Tento typ měření byl historicky významný, dnes se však prakticky nepoužívá [10].

**Mechanické tenzometry** patří do další skupiny tenzometrů. Základem jejich funkce je mechanický převod deformace do čitelné podoby, často pomocí pákového mechanismu. Typickým zástupcem je Huggenbergerův tenzometr. Tato zařízení vyžadují vizuální přístup k místu měření a nejsou vhodná pro dynamické aplikace [9], [10].

**Strunové tenzometry** jsou poslední skupinou tenzometrů. Měření je založeno na změně kmitočtu napjaté struny, která reaguje na deformaci. Tenzometr přeměňuje tuto změnu na elektrický signál. Jsou vhodné pro dlouhodobé a dálkově přenášené měření deformací [9].

## 2.2. Rezistanční tenzometr

Ačkoli byly jednotlivé typy tenzometrů stručně uvedeny v předcházející kapitole, tato část práce se zaměřuje výhradně na rezistanční tenzometry. Důvodem je skutečnost, že právě tento typ tenzometrického čidla je použit v praktické části práce. Kapitola se proto podrobně věnuje konstrukci, principu činnosti a vlastnostem rezistančních tenzometrů s cílem vytvořit teoretický základ pro jejich následné experimentální využití.

Rezistanční tenzometry tvoří nejrozšířenější skupinu měřicích čidel využívaných k experimentálnímu sledování deformací. Jejich obliba vychází z jednoduchého principu, vysoké přesnosti a široké použitelnosti v technické praxi. Základní

myšlenkou jejich funkce je skutečnost, že elektrický odpor kovového vodiče se mění v závislosti na jeho mechanické deformaci [9], [10].

### 2.2.1. Konstrukce

Konstrukčně je rezistanční tenzometr tvořen vodivým prvkem (drátkem nebo fólií) uspořádaným do vhodného tvaru znázorněno na obrázku č. 2, který je nalepen na izolační podložku. Tato sestava se poté lepí přímo na povrch sledované konstrukce. Při jejím namáhání se deformace přenáší přes podložku na vodič, což vyvolá odpovídající změnu jeho elektrického odporu [9].



Obrázek 2 Konstrukce foliových čidel [9, s.12]

Materiály používané pro výrobu rezistančních čidel musí splňovat přísné požadavky na elektrickou stabilitu, mechanickou pevnost a minimální citlivost na teplotní změny. Nejčastěji používanými materiály jsou slitiny jako konstantan, manganin nebo isoelastic, které zajišťují nízký teplotní součinitel odporu a dobré mechanické vlastnosti [9], [10].

### 2.2.2. Princip

Princip rezistančního tenzometru spočívá v přímé závislosti mezi relativní změnou délky vodiče a změnou jeho elektrického odporu. Pokud je vodič natažen, prodlužuje se jeho délka a zároveň se zmenšuje jeho průřez, což vede ke zvýšení odporu. Při stlačení vodiče dochází k opačnému jevu, a tedy ke zkrácení délky a zvětšení průřezu, což ve výsledku způsobuje pokles odporu. Tento efekt je vyhodnocován pomocí měřicího zapojení, nejčastěji v podobě Wheatstoneova můstku, který umožňuje zaznamenat i velmi malé změny odporu odpovídající malým deformacím [10].

### 2.2.3. Vlastnosti

Velkou výhodou rezistančních tenzometrů je jejich univerzálnost. Lze je aplikovat jak na kovové konstrukce, tak i na materiály jako je beton, plast či dřevo. Díky malým rozměrům a minimálnímu zatížení sledovaného objektu nenarušují jeho mechanické vlastnosti. Vhodnou volbou upevňovacího prostředku a ochranné vrstvy je možné čidla použít i v náročných podmínkách, například ve venkovním prostředí nebo v prostředí s vysokými teplotními rozdíly [9].

Z praktického hlediska je nezbytné zajistit správnou instalaci tenzometru, která zahrnuje přípravu povrchu, přesné nalepení čidla a následné elektrické připojení. Jakákoli nepřesnost v těchto krocích může ovlivnit přesnost měření a spolehlivost výsledků. Při správném provedení však rezistanční tenzometry umožňují velmi přesné a opakovatelné měření deformací s rozlišením na tisícinu milimetru [10].

#### 2.2.3.1. Elektrický odpor

Elektrický odpor představuje jednu z klíčových fyzikálních veličin ovlivňujících činnost rezistančního tenzometru. Materiál měřicí mřížky se při deformaci prodlužuje nebo zkracuje, čímž se mění jeho odpor. Změna odporu je základem pro měření mechanického napětí a deformace, neboť odpor čidla se mění úměrně délkové změně vodiče, a tedy i mechanickému přetvoření [9]. Tato závislost je popsána vztahem:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad (2.1)$$

Kde:  $R$  ... Odpor [ $\Omega$ ],  
 $\rho$  ... Měrný elektrický odpor materiálu [ $\Omega \cdot m$ ],  
 $l$  ... Délka vodiče [m],  
 $A$  ... Průřezová plocha [ $m^2$ ].

Tato změna odporu není ovšem závislá jen na mechanickém zatížení, jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách. Teplota prostředí rovněž ovlivňuje elektrické vlastnosti vodiče, konkrétně jeho rezistivitu. V důsledku toho může i při absenci zatížení dojít ke změně výstupního signálu, což vyžaduje odpovídající kompenzaci [10].

Elektrický odpor tenzometru při nulovém mechanickém zatížení a referenční teplotě se označuje jako počáteční odpor. Tato hodnota je výrobcem udávána jako jedna ze

základních charakteristik tenzometrického čidla. Typické hodnoty počátečního odporu bývají například 120 Ω, 350 Ω nebo 1000 Ω, přičemž volba konkrétní varianty závisí na typu měření, požadavcích na přesnost a použité měřicí technice. Hodnota slouží jako referenční bod pro vyhodnocení relativní změny odporu vlivem mechanické deformace nebo teplotní změny [10].

Rezistanční tenzometry jsou vyráběny s různými hodnotami odporu, přičemž hodnota 120 Ω je považována za nejběžnější a nejuniverzálnější. Výběr vhodného odporu závisí mimo jiné na požadavcích měřicího zařízení, délce a vlastnostech propojovacích vodičů a na požadované elektrické zatížitelnosti tenzometru. Hodnoty odporu tenzometru mají historický původ, ale zůstávají platné díky své osvědčenosti v praxi [10].

### 2.2.3.2. K-faktor

K-faktor je základní parametr definující citlivost tenzometru, tedy poměr relativní změny elektrického odporu k relativní délkové změně [10]. Hodnota k-faktoru je tedy dána vztahem:

$$[10, s. 53] \quad k = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon} \quad (2.2)$$

Kde:  $\Delta R$  ... Změna odporu [Ω],  
 $R$  ... Počáteční odpor [Ω],  
 $\varepsilon$  ... Poměrné přetvoření [-].

K-faktor závisí na vlastnostech použitých materiálů měřicí mřížky. Následující přehled uvádí typické střední hodnoty k-faktoru a chemické složení pro vybrané materiály měřicích mřížek uvedených v tabulce č. 1 [10].

Materiál	Chemické složení [%]	K-faktor [-]
Konstantan	57 % Cu, 43 % Ni	2,05
Karma	73 % Ni, 20 Cr, 7 % Fe+Al	2,1
Nichrome V	80 % Ni, 20 % Cr	2,2
Platin-Wolfram	92 % Pt, 8 % W	4,0

*Tabulka 1 Průměrné hodnoty deformační citlivosti (k-faktoru) pro tenzometry s různými materiály měřicích mřížek [10, s.54]*

Je důležité zdůraznit, že k-faktor není vždy konstantní a jeho hodnota se může měnit například v závislosti na teplotě nebo mechanickém namáhání. Některé materiály mají téměř lineární vztah mezi deformací a změnou odporu, což umožňuje jejich využití v širokém rozsahu měření. Naopak jiné materiály, jako např. konstantan, mohou při velmi velkých deformacích vykazovat nelineární chování a je třeba je popsat pomocí vyššího řádu aproximace [9], [10].

Vliv teploty je zvláště důležitý při dlouhodobých měřeních nebo v proměnlivém prostředí, kde kolísání teplot může způsobit změnu citlivosti čidla, a tedy i zkreslení výsledků. [9], [10].

### **2.2.3.3. Teplotní samokompence**

Teplotní samokompence představuje konstrukční přístup, jehož cílem je minimalizace vlivu změn teploty na výstupní signál tenzometrického měření. Některé rezistanční tenzometry jsou navrženy tak, aby samy kompenzovaly teplotní účinky způsobené rozdílem v teplotní roztažnosti mezi čidlem a materiálem, na který je tenzometr aplikován. [10].

Správná volba samokompenzovaného tenzometru významně přispívá ke snížení teplotních chyb měření, a to bez nutnosti externí kompenzace. Tenzometry jsou přitom klasifikovány podle hodnot součinitele teplotní roztažnosti materiálu  $\alpha_C$ , pro který jsou určeny. Pokud je tedy znám součinitel teplotní roztažnosti  $\alpha_C$  měřeného objektu a součinitel teplotní roztažnosti materiálu měřicí mřížky  $\alpha_M$ , lze zvolit tenzometr s odpovídajícím typem samokompence, čímž se zajistí vyšší přesnost výsledků i v proměnlivých teplotních podmínkách [10].

Teplotní samokompenci lze realizovat úpravou teplotního koeficientu odporu měřicí mřížky  $\alpha_n$  tak, aby v určitém teplotním rozsahu vyvolával co nejmenší změnu odporu. Toho se dosahuje optimalizací chemického složení (např. různě legovaný konstantan) a následnou tepelnou úpravou. V praxi je plná kompenzace velmi obtížná kvůli nelineárním jevům a rozptylu parametrů materiálů [10].

Aby bylo možné dosáhnout plné kompenzace, musí být teplotní koeficient odporu  $\alpha_n$  upraven tak, aby platilo:

$$[10, \text{s.61}] \quad \alpha_R = (\alpha_M - \alpha_C)k \quad (2.3)$$

Kde:  $\alpha_R$  ... Relativní změna odporu [1/K],  
 $\alpha_M$  ... Teplotní roztažnost měřicí mřížky tenzometru (čidla) [1/K],  
 $\alpha_C$  ... Teplotní roztažnost materiálu [1/K],  
 $k$  ... K-faktor [-].

#### 2.2.4. Způsoby zapojení do Wheatstoneova mostu

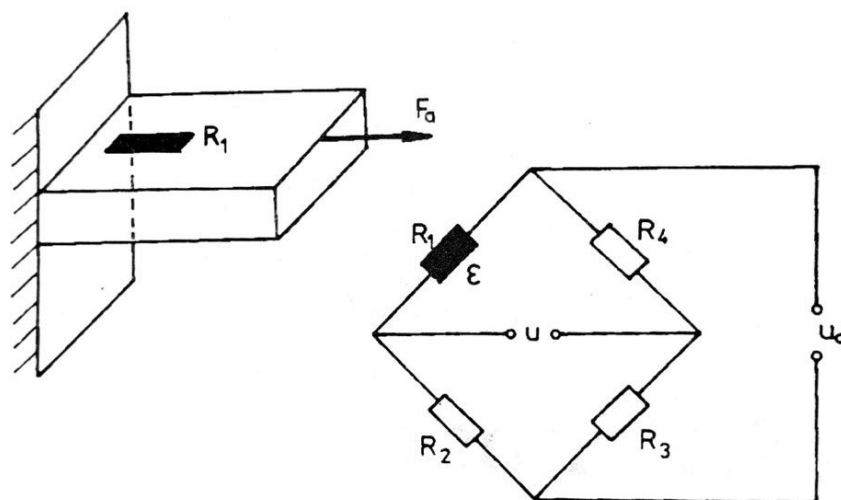
Wheatstoneův můstek je základním zapojením pro převod malých změn elektrického odporu na měřitelné napětí. Tento čtyřramenný rezistorový obvod využívá srovnání napěťových poměrů mezi jednotlivými větvemi k určení změny odporu vyvolané mechanickým zatížením. Ve vyváženém stavu, tedy bez působení deformace, je výstupní napětí nulové. Jakákoli nerovnováha způsobená změnou odporu tenzometru se projeví jako výstupní signál úměrný mechanickému zatížení [9], [10].

Volba konkrétní varianty zapojení ovlivňuje citlivost, linearitu a schopnost potlačit rušivé vlivy jako je teplota. Níže jsou uvedeny základní typy používaných zapojení s popisem jejich vlastností.

##### 2.2.4.1. Čtvrťmůstek – jedno aktivní čidlo ( $R_1$ ), tři pasivní rezistence ( $R_2, R_3, R_4$ )

Čtvrťmůstkové zapojení viz. obrázek č. 3 představuje nejzákladnější variantu Wheatstoneova můstku. Pouze jedno ze čtyř ramen je osazeno aktivním odporovým tenzometrem ( $R_1$ ), který je přímo vystaven mechanickému namáhání. Ostatní tři ramena ( $R_2, R_3, R_4$ ) obsahují pasivní odpory s konstantní hodnotou, které slouží ke zformování elektrického můstku do vyváženého stavu při nulovém zatížení [9], [10].

Při působení vnější síly dochází k deformaci měřeného tělesa, která se prostřednictvím mechanické vazby přeneše na aktivní čidlo. Změna délky a průřezu měřicí mřížky tenzometru způsobí změnu jeho elektrického odporu. Tím dojde k narušení rovnováhy můstku a mezi diagonálními uzly se objeví výstupní napětí, jehož velikost je úměrná míře deformace [9], [10].



Obrázek 3 Čtvrťmůstek [9, s.20]

Výstupní signál je v této konfiguraci poměrně nízký, neboť pouze jedno rameno mění svůj odpor. Lineární vztah mezi deformací a výstupním napětím platí pouze v omezeném rozsahu malých deformací. Vliv teploty není v tomto zapojení plně kompenzován, což je jeho hlavní nevýhodou. Pro zlepšení teplotní stability se někdy do jedné z pasivních větví přidává tzv. kompenzační odpor, který má shodné materiálové vlastnosti jako aktivní čidlo, ale není vystaven deformaci. Čtvrťmůstek je často využíván v jednoduchých měřeních, kde není vyžadována vysoká přesnost ani teplotní nezávislost [9], [10].

#### 2.2.4.2. Polomůstek – jedno aktivní a jedno kompenzační čidlo, dvě pasivní rezistence

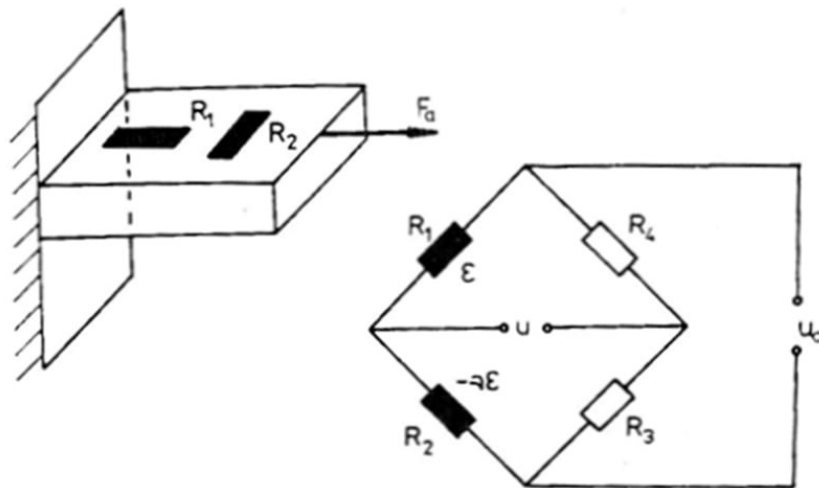
Tato varianta využívá jedno aktivní čidlo a jedno kompenzační čidlo, které není vystaveno mechanickému zatížení. Kompenzační prvek reaguje pouze na změny teploty, což umožňuje jejich částečnou eliminaci z výstupního signálu [9].

#### 2.2.4.3. Polomůstek – dvě aktivní čidla (2AC), dvě pasivní rezistence (2PR)

Tato konfigurace Wheatstoneova můstku je znázorněna na obrázku č. 4 a využívá dvě aktivní měřicí čidla ( $R_1$  a  $R_2$ ) a dvě pasivní rezistence ( $R_3$  a  $R_4$ ), které nejsou vystaveny mechanickému zatížení. Aktivní čidla jsou umístěna v oblasti se stejným napěťovým polem, avšak každé ve směru jiné složky deformace – jedno ( $R_1$ ) v podélném směru zatížení, druhé ( $R_2$ ) v příčném směru [9].

Při tahovém zatížení měří  $R_1$  prodloužení tělesa, zatímco  $R_2$  zaznamenává příčné zúžení způsobené vlivem Poissonova jevu. Výsledkem je, že obě čidla vykazují změnu odporu v opačných směrech, avšak díky zapojení do protilehlých ramen můstku se jejich účinek sčítá. Tento princip se využívá především u prvků zatěžovaných osovou silou, kde je cílem přesně zachytit jak přířnou, tak i příčnou deformaci [9].

Obě pasivní rezistence ( $R_3$  a  $R_4$ ) doplňují můstek do čtyřramenného obvodu a slouží ke stabilizaci výchozího napět'ového stavu a částečné teplotní kompenzaci [9], [10].



Obrázek 4 Polomůstek pro tah a tlak [9, s.22]

Dvě pasivní rezistence doplňují můstek do čtyřramenného obvodu. Vzhledem k tomu, že aktivní čidla jsou vystavena stejným teplotním podmínkám, změny způsobené teplotou mají tendenci se vzájemně rušit, což vede k částečné kompenzaci teplotních vlivů. Nicméně plná teplotní kompenzace není zaručena – záleží na přesnosti osazení a identických vlastnostech obou čidel [9], [10].

Z hlediska linearity poskytuje toto zapojení přibližně lineární vztah mezi mechanickou deformací a výstupním napětím, a to v širším rozsahu zatížení než u čtvrtmůstku [9], [10].

#### 2.2.4.4. Polomůstek – dvě aktivní čidla, dvě pasivní rezistence (ohyb)

Tato varianta se používá především pro měření ohybového napětí v konstrukčních prvcích. Dvě aktivní čidla se umísťují na protilehlé povrchy ohýbaného nosníku. Jedno na vnější straně, kde vzniká tah, a druhé na vnitřní straně, kde vzniká tlak. Při ohybu se odpor jednoho čidla zvětšuje a druhého zmenšuje, čímž vzniká výrazné výstupní

napětí. Dvě pasivní rezistence slouží k doplnění můstku a stabilizaci výchozího stavu. Zapojení poskytuje vyšší citlivost než čtvrtmůstek a umožňuje přesnější vyhodnocení ohybového zatížení [9].

#### **2.2.4.5. Polomůstek – jedno aktivní a jedno kompenzační příčné čidlo (KPC), dvě pasivní rezistence**

V tomto zapojení se využívá kombinace podélně a příčně orientovaného čidla. Aktivní čidlo sleduje hlavní směr deformace, zatímco příčně orientované kompenzační čidlo slouží k odfiltrování vlivu napětí, které nepůsobí v hlavním směru. Tímto způsobem lze lépe rozlišit mezi tahem, tlakem a ohybem v komplexně zatěžovaných konstrukcích. Pasivní rezistory opět tvoří zbylá ramena můstku. Zapojení se hodí pro sofistikovanější aplikace, kde je nutné potlačit vliv složek deformace, které nejsou předmětem měření [9].

#### **2.2.4.6. Celý můstek – jedno aktivní čidlo, tři kompenzační (tah a tlak)**

Toto zapojení představuje způsob, jak výrazně zvýšit stabilitu výstupního signálu při měření malých deformací. Pouze jedno čidlo je aktivní, tedy reaguje na mechanické zatížení, zatímco ostatní tři slouží ke kompenzaci teplotních a dalších nežádoucích vlivů. Toto řešení se používá tam, kde je požadována vysoká přesnost a stabilita za proměnných okolních podmínek, např. v laboratorních nebo průmyslových měřeních [9], [10].

#### **2.2.4.7. Celý můstek – čtyři aktivní čidla (ohyb – tah/tlak)**

V tomto zapojení jsou všechna čtyři ramena můstku osazena aktivními čidly. Dvě čidla se nachází v oblasti tahu a dvě v oblasti tlaku. Díky tomu dochází k maximálnímu zesílení výstupního signálu a současně k účinné teplotní kompenzaci. Toto zapojení se využívá zejména v přesných měřeních ohybových deformací, kde je klíčové potlačit vliv prostředí a zvýšit rozlišovací schopnost [9].

#### **2.2.4.8. Celý můstek – čtyři aktivní čidla (dvě příčné) – tah/tlak (vyloučený ohyb)**

Toto zapojení využívá čtyři aktivní čidla, z nichž dvě jsou příčně orientovaná. Díky jejich uspořádání je možné potlačit vliv ohybového zatížení a izolovat pouze složku

tahového nebo tlakového napětí. Takto navržený můstek je vhodný pro aplikace, kde by přítomnost ohybu mohla zkreslit výsledky měření [9].

#### **2.2.4.9. Celý můstek – čtyři aktivní čidla (dvě příčné) – ohyb (vyloučen tah/tlak)**

Tento můstek je navržen tak, aby měřil čistě ohybový moment a byl necitlivý na tahové či tlakové složky napětí. Dvě z čidel jsou příčně orientována a jejich rozmístění zajišťuje, že podélné deformace se ve výstupním signálu kompenzují. Zapojení se používá pro specifické technické aplikace, kde je potřeba zamezit vlivu tahového nebo tlakového namáhání [9].

#### **2.2.4.10. Celý můstek – čtyři aktivní čidla – zkrut (vyloučen tah, tlak, ohyb)**

V tomto zapojení je uspořádání čidel optimalizováno pro měření torzního napětí. Vliv ostatních složek mechanického namáhání – jako jsou tah, tlak a ohyb – je konstrukčně potlačen, a výstupní signál tak odráží čistě torzní moment. Toto řešení je využíváno například v měření krouticího momentu na hřídelích nebo trubkách [9].

### **2.2.5. Mechanismy teplotního ovlivnění**

Přesnost měření deformací pomocí rezistančních tenzometrů může být zásadně ovlivněna změnami teploty. Teplota ovlivňuje nejen samotné čidlo, ale i měřený objekt, vodiče, lepicí vrstvy a další komponenty měřicího systému. Proto je pochopení teplotní odezvy klíčovým faktorem při návrhu i interpretaci výsledků experimentálního měření [9], [10].

#### **2.2.5.1. Zdánlivé přetvoření**

Zdánlivé přetvoření (také označované jako falešné napětí) je souhrnný pojem pro jevy, které způsobují výstupní signál tenzometrického čidla i bez skutečné mechanické deformace. Tato složka signálu je čistě teplotního původu a v praxi může být významná, zejména při dlouhodobých měřeních v proměnlivých klimatických podmínkách. Zdánlivé přetvoření je tvořeno dvěma hlavními složkami [9]:

- změnou elektrického odporu materiálu měřicí mřížky v důsledku teploty,
- rozdílem v délkové teplotní roztažnosti mezi čidlem a podkladovým materiálem [9].

## Změna odporu mřížky vlivem teploty

Každý vodič, a tedy i materiál tenzometrické mřížky, mění svůj elektrický odpor v závislosti na teplotě. Tato změna je popsána vztahem:

$$R = R_0(1 + \alpha_n \Delta t) \quad (2.4)$$

Kde:  $R$  ... Výsledný odpor při zvýšené teplotě [ $\Omega$ ],  
 $R_0$  ... Odpor při referenční teplotě [ $\Omega$ ],  
 $\alpha_n$  ... Teplotní koeficient elektrického odporu materiálu mřížky [ $1/K$ ],  
 $\Delta t$  ... Rozdíl teploty [ $K$ ].

Tato změna odporu se projeví jako falešný signál v měřicím obvodu, ačkoli žádná skutečná deformace nenastala. Tento jev se označuje jako falešné napětí nebo zdánlivé prodloužení. K jeho eliminaci se používají kompenzační techniky, jako je zapojení s referenčním čidlem nebo symetrické zapojení více čidel v můstku [9].

## Délková teplotní roztažnost materiálů

Druhou složkou zdánlivého přetvoření je délková teplotní dilatace materiálu, na který je tenzometr nalepen. Při změně teploty se podkladový materiál roztahuje nebo smršťuje. Měřicí mřížka tenzometru je s tímto materiálem pevně spojena, takže tuto deformaci sleduje. Pokud však materiál čidla a základního tělesa nemají shodné teplotní vlastnosti, vzniká dodatečná deformace, která se ve výstupním signálu projeví jako falešné napětí [9], [10]. Tato složka je popsána vztahem:

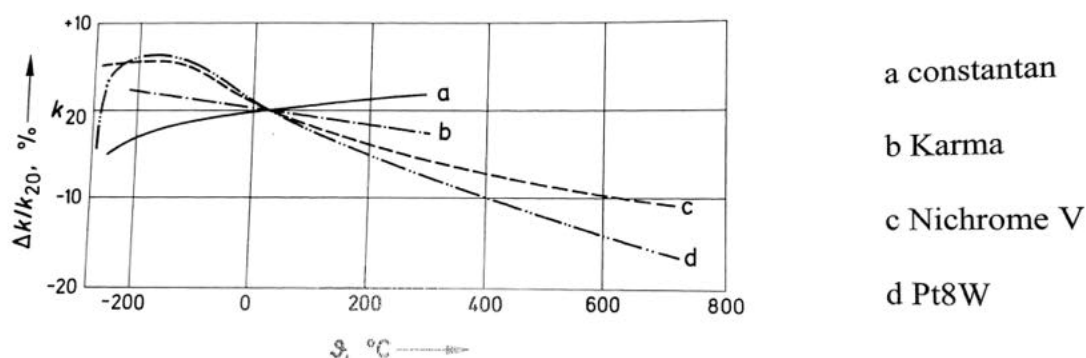
$$[9, \text{s. 9}] \quad \varepsilon_t = \left( \frac{\alpha_n}{k} + \alpha_B - \alpha_M \right) \Delta t \quad (2.5)$$

Kde:  $\varepsilon_t$  ... Zdánlivá deformace [-],  
 $\alpha_n$  ... Teplotní koeficient odporu materiálu mřížky [ $1/K$ ],  
 $k$  ... Deformační citlivost (k-faktor) [-],  
 $\alpha_B$  ... Součinitel teplotní dálkové roztažnosti základního materiálu [ $1/K$ ],  
 $\alpha_M$  ... Součinitel teplotní délkové roztažnosti materiálu měřicí mřížky [ $1/K$ ],  
 $\Delta t$  ... Rozdíl teploty [ $K$ ].

Rozdíl mezi  $\alpha_B$  a  $\alpha_M$  je hlavní příčinou tohoto typu falešného signálu. K jeho potlačení se používají čidla s interní teplotní samokompencací, jejichž geometrie i materiálové vlastnosti jsou optimalizovány pro určitý typ základního materiálu [9].

### 2.2.5.2. Změny citlivosti K-faktoru

Změny citlivosti k-faktoru v závislosti na teplotě jsou znázorněny na obrázku č. 5, kde jsou porovnány různé materiály mřížek, jako je konstantan, karma nebo nichrome.



Obrázek 5 Závislost k-faktoru na teplotě pro čtyři běžně používané slitiny měřicích mřížek [10, s. 68]

Tento obrázek dokazuje, že volba materiálu mřížky výrazně ovlivňuje stabilitu měření v teplotně proměnlivém prostředí.

Mezi nejpoužívanější patří Wheatstoneův můstek s kompenzační větví, využití samokompenzovaných čidel a volba materiálů s minimálním rozdílem součinitele délkové teplotní roztažnosti  $\alpha$  mezi měřicí mřížkou a měřeným materiálem [10].

### 2.2.5.3. Omezená dilatace tělesa (reálné tepelné napětí)

Kromě zdánlivého přetvoření může teplota způsobit i skutečné mechanické napětí, pokud je tělesu znemožněna volná dilatace. Typickým příkladem je ocelový prvek vetknutý na obou koncích, který je rovnoměrně ohříván. Těleso se při zvýšení teploty snaží prodloužit, avšak pevné kotvení mu to neumožní. Výsledkem je vznik vnitřního mechanického napětí, které je přenášeno na povrch, kde jej registruje tenzometr jako skutečnou deformaci. Tato deformace není způsobena vnějším zatížením, ale omezením přirozené teplotní dilatace [10],[5].

Experimentální ověření tohoto jevu je uvedeno ve zdroji [5]. Při simulaci podmínek v bezstykové koleji byl vzorek fixovaný na obou koncích vystaven rovnoměrnému

ohřevu. V důsledku omezené možnosti teplotní dilatace docházelo se vzrůstající teplotou k nárůstu vnitřního mechanického napětí. Protože byl vzorek fixován, nemohla být měřena samotná délková deformace, ale pouze nárůst napětí způsobený zabráněným prodloužením [5].

Shodný princip je zmiňován ve zdroji [10]. Samokompenzované tenzometry jsou navrženy pro rovinné aplikace. Při aplikaci na plochy, kde je dilatace omezena, dochází ke vzniku mechanického napětí bez vnější síly. Kompenzace v takových podmínkách je neúplná, a měřená deformace odpovídá skutečnému mechanickému napětí, nikoli zdánlivému přetvoření [10].

### **3. Stanovení vývoje neutrální teploty a mechanického napětí v bezстыkové koleji**

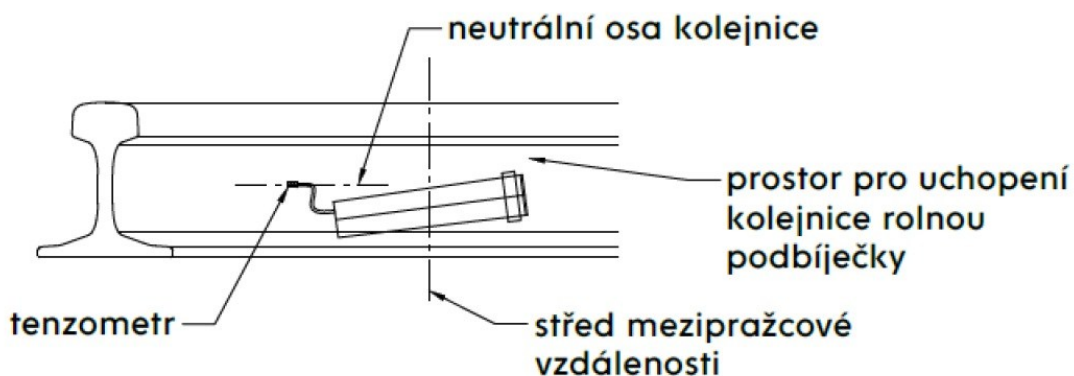
Problematika přesného stanovení aktuální hodnoty neutrální teploty a s ní souvisejícího mechanického napětí v bezстыkové koleji představuje aktuální téma, kterému je věnována pozornost po celém světě. Ačkoli již bylo navrženo a experimentálně ověřeno více přístupů k nedestruktivnímu stanovení napětí v kolejnici, žádná z dosud používaných metod nepřinesla jednoznačný průlom nebo široce použitelný návod pro praxi [5].

Této problematice se podrobně věnuje práce uvedená ve zdroji [5] s cílem navrhnout metodiku měření, která by byla nejen přesná, ale zároveň i technicky a ekonomicky dostupná pro praktické nasazení v podmínkách české železniční sítě. Práce vychází z využití moderních tenzometrických prvků a navrhuje způsob sledování časového vývoje osového napětí v bezстыkové koleji po jejím zřízení [5].

S ohledem na výše uvedené skutečnosti a na klíčový přínos této disertační práce k hlubšímu porozumění vývoje napětí v bezстыkové koleji se tato kapitola věnuje právě shrnutí hlavních principů, metodických postupů a zjištění, které vyplynuly z práce uvedené ve zdroji [5]. Cílem je nejen představit disertační práci, její principy, nebo použitou metodiku, ale také popsat výzvy pro další výzkum, na které se snaží navázat tato diplomová práce.

#### **3.1. Způsob instalace tenzometrů na kolejnici**

Pro účely sledování stavů napjatosti v bezстыkové koleji byl vyvinut měřicí systém, jehož klíčovou součástí byla tzv. „track unit“, tedy měřicí jednotka určená k instalaci přímo na kolejnici viz obrázek č. 6. Tato jednotka byla koncipována tak, aby splňovala několik zásadních kritérií – zejména snadnou montáž, vysokou přesnost, odolnost vůči provozním a klimatickým vlivům, a zároveň aby nijak neomezovala běžný železniční provoz ani nezasahovala do kolejových obvodů [5], [11].



Obrázek 6 Schéma umístění měřicí jednotky na kolejnici [11, s. 14]

Jádrum měřicí jednotky byl odporový tenzometr typu K-CLY4-0600-1-350-4-050-Y, vyráběný společností HBM. Tento snímač byl připevněn na kolejnici tak, aby jeho měřicí mřížka byla orientována rovnoběžně s podélnou osou kolejnice, přičemž samotná instalace se prováděla v blízkosti neutrální osy kolejnice viz obrázek č. 7. [5].



Obrázek 7 Nalepený tenzometr (ještě s teflonovou přikrývkou) [11, s. 13]

Celkově byl tento způsob instalace navržen tak, aby byl nejen účinný, ale také odolný vůči náročným podmínkám železničního provozu a současně umožnil snadné opakované použití měřicího systému [5], [11].

Pro účely měření stavu mechanického napětí koleje byly použity dvě varianty zapojení tenzometrických čidel do Wheatstoneova můstku: polomůstkové a čtvrtmůstkové zapojení. Zatímco polomůstkové zapojení bylo aplikováno zejména v počátečních fázích, později se přešlo na čtvrtmůstkové zapojení, které vykazovalo nižší míru šumu a vyšší stabilitu měřených hodnot. Čtvrtmůstkové zapojení využívalo pouze jeden aktivní tenzometr, přičemž ostatní odpory byly pasivní a předem kalibrované. Toto

zapojení umožnilo přesné vyhodnocení napětí i při ručním odečtu pomocí mobilní ústředny MX840A s adaptérem SCM-SG350 [5], [11].

### **3.2.Způsob měření mechanického napětí v kolejnici**

Měření probíhalo ve čtyřech vybraných lokalitách české železniční sítě, které reprezentovaly různé směrové a konstrukční podmínky koleje. V lokalitě Borovnice (km 73.1–73.6) byly měřicí body rozmístěny v přechodové, obloukové i přímé části tratě. V Ostopovicích (km 146.9–147.4) šlo o první plně nasazenou lokalitu s čtvrtmůstkovým zapojením, i když technické komplikace omezily rozsah použitelných dat. Lokalita Chotěvice (km 112.0–112.5) zahrnovala dva oblouky a mezilehlý přímý úsek s vysokým počtem měřicích bodů. V poslední lokalitě Bezpráví (km 260.8–261.4) byla pozornost věnována pravidelnému rozmístění profilů podél celé trati [5].

Ještě před samotným provedením závěrných svarů kolejnice byla provedena úvodní měření, která sloužila k zaznamenání výchozího stavu napjatosti koleje. Tato měření umožnila následné porovnání s hodnotami po svaření a poskytla důležité srovnávací údaje pro analýzu změn mechanického napětí [5].

Bezprostředně po provedení závěrných svarů kolejnice bylo nutné provádět denní měření, aby bylo možné zaznamenat počáteční dynamiku změn napětí. V dalším období se přešlo na týdenní režim, a v dlouhodobém horizontu se sledování provádělo v měsíčních intervalech. Zásadní roli hrála i doba měření – preferovalo se provádění ve stejnou denní dobu kvůli minimalizaci vlivu kolísání teploty během dne [5], [11].

Při samotném odečtu měření se postupovalo podle ustáleného sledu kroků. Nejprve byla k traťové jednotce připojena mobilní měřicí ústředna typu MX840A. Poté došlo k okamžitému odečtu výstupu tenzometrického čidla, který byl zaznamenán prostřednictvím měřicí ústředny. Následovalo měření teploty kolejnice pomocí ručního bezkontaktního teploměru v těsné blízkosti měřicího bodu. Zároveň se ručně zaznamenávaly meteorologické podmínky, zejména stav oblačnosti, vlhkost vzduchu a případná přítomnost srážek. [5], [11].

### 3.3. Metodika zpracování naměřených hodnot

Metodika zpracování naměřených dat z tenzometrického měření vychází z principu obecné lineární regrese, která vyjadřuje závislost mezi teplotou kolejnice a její podélnou deformací. Výsledná rovnice umožňuje zpětný výpočet tzv. extrapolované teploty, která odráží hypotetickou hodnotu teploty odpovídající pouze vlivu teplotní roztažnosti. Klíčovým parametrem je LTCAS – lineární teplotní koeficient zdánlivé deformace, který představuje sklon regresní přímky a vyjadřuje podíl deformace nelineárně související s teplotou [5].

Tenzometry byly instalovány na kolejnice s cílem zaznamenat podélné deformace, a to především vlivem teplotních změn. Měření byla prováděna denně v prvním týdnu po svaření a poté v širších intervalech v průběhu jednoho roku. Současně byla zaznamenávána i aktuální teplota kolejnice pomocí kontaktních teploměrů, čímž vznikl datový soubor pro regresní analýzu [5].

Data byla rozdělena do dvou hlavních sad – LTCAS week (denní měření po svaření) a LTCAS all (dlouhodobé měření). Pro každou měřicí lokalitu byly provedeny lineární regrese mezi deformací a teplotou, na jejichž základě byly určeny koeficienty  $a$  (LTCAS),  $b$  (absolutní člen). Pomocí těchto koeficientů byla vypočtena extrapolovaná teplota, která odstraňuje vliv zdánlivé deformace a poskytuje přímou odezvu na změnu mechanického napětí v kolejnici [5].

Dále byl určen rozdíl mezi extrapolovanou a skutečně naměřenou teplotou kolejnice, který slouží jako indikátor změny neutrální teploty – tedy teploty, při níž je kolejnice bez podélného napětí. Tyto změny byly graficky znázorněny v čase pro různé měřicí profily. Z pozorovaných trendů vyplynulo, že neutrální teplota není konstantní a kolísá v závislosti na klimatických podmínkách i na vnitřních změnách v konstrukci koleje [5]. Na základě rozdílu mezi aktuální a neutrální teplotou bylo rovnicí:

$$\sigma = -E \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (3.1)$$

Kde:  $\sigma$  ... Podélné napětí v kolejnici [Pa],  
 $E$  ... Modul pružnosti materiálu kolejnice [Pa],  
 $\alpha$  ... Součinitel délkové teplotní roztažnosti oceli [-]  
 $\Delta T$  ... Rozdíl aktuální a neutrální teploty kolejnice [°C].

Výsledky ukázaly střídání tahového a tlakového napětí v průběhu ročních období. Data byla následně statisticky ověřena, přičemž byly odstraněny odlehle hodnoty a analyzována rozptylová charakteristika koeficientu LTCAS [5].

### 3.4. Závěry z terénního měření

Data ukazují, že neutrální teplota se v čase mění, a to jak v závislosti na klimatických podmínkách, tak i v důsledku vnitřních změn v konstrukci koleje. Během ročního sledování byla měření prováděna na dvou různých lokalitách, a to vždy v několika měřicích místech rozdělených podle příčných profilů koleje [5].

Byly zaznamenány tyto klíčové poznatky [5]:

- **symetrie mezi kolejnicemi:** u většiny profilů se ukázalo, že levá i pravá kolejnice ve stejném úseku vykazují podobný vývoj neutrální teploty, což potvrzuje konzistenci metody a symetrické chování koleje,
- **rozdíly mezi lokalitami a profily:** vývoj neutrální teploty se liší mezi jednotlivými profily i lokalitami, a to zejména v závislosti na způsobu upevnění, typu kolejnice, přítomnosti přechodových úseků a pravděpodobně i stavu podloží,
- **dlouhodobý trend:** v letních měsících má neutrální teplota tendenci mírně růst, v zimních měsících může stagnovat nebo mírně klesat. Tyto trendy byly vyhodnoceny z rozdílu mezi extrapolovanou a naměřenou teplotou,
- **reakce na zásahy:** v některých případech bylo možné pozorovat vliv údržby, například podbití, které vedlo ke změně v LTCAS nebo k výkyvu v trendu neutrální teploty,
- **konzistence v rámci profilů:** většina měřicích míst vykazovala stabilní trend bez náhlých skokových změn, což nasvědčuje tomu, že změny neutrální teploty probíhají pozvolně a jsou řízeny dlouhodobými faktory (např. klimatickými podmínkami nebo únavou materiálu),
- **možnost identifikace degradace:** v některých případech došlo ke zhoršení kvality signálu, což může indikovat fyzické poškození čidla nebo jeho uložení, případně změnu v napojení systému. Taková data byla při analýze odfiltrována [5].

Celkově lze říci, že metoda umožnila sledovat nejen aktuální hodnotu neutrální teploty, ale i její vývoj v čase. To je klíčové pro predikci napěťových stavů kolejnice a pro plánování preventivní údržby nebo zásahů do konstrukce koleje [5].

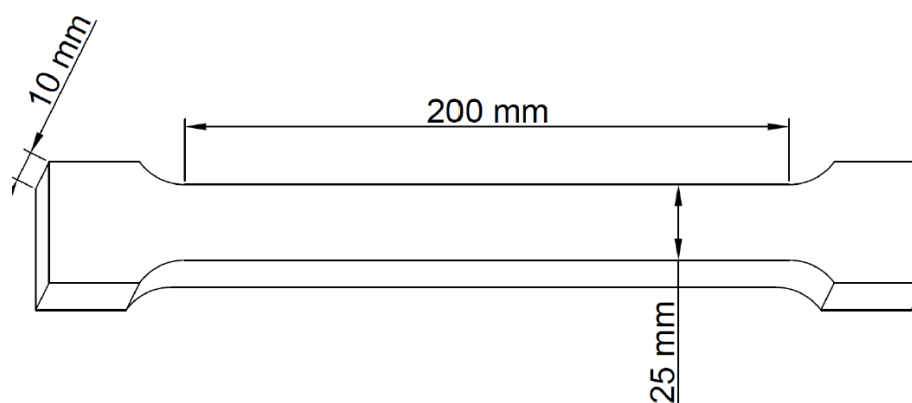
### 3.5. Experimentální měření

Měření měla za cíl experimentálně ověřit chování bezstykové koleje při různých typech zatížení. V laboratorních podmínkách byly použity rezistanční tenzometry, které byly zapojeny ve formě Wheatstoneova můstku. Pozornost byla věnována dvěma konfiguracím – konfiguraci čtvrtmůstku a konfiguraci polovičního můstku. Tyto konfigurace byly testovány z hlediska jejich citlivosti na deformace zkušební tělesa vyvolané jak mechanickým, tak tepelným zatížením [5].

Experimenty byly navrženy tak, aby simulovaly reálné provozní podmínky. Zkoumána byla odezva měřicích tenzometrů při působení podélné síly při stálé teplotě, při teplotních změnách s různým způsobem upevnění vzorku i při kombinaci předpětí s následným zahřátím. Výsledky poskytly důležité informace o spolehlivosti jednotlivých zapojení a míře teplotní samokompensace tenzometrů [5].

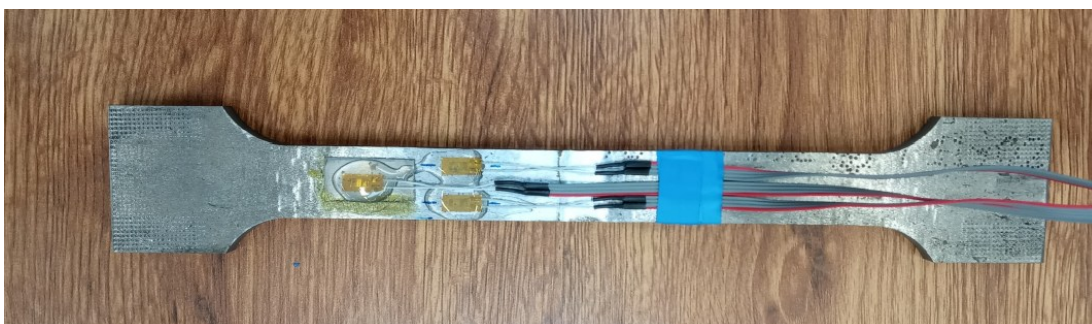
#### 3.5.1. Zkušební těleso

Zkušebním tělesem byl ocelový vzorek z materiálu S355 o délce 200 mm, šířce 25 mm a tloušťce 10 mm. Geometrie tělesa byla na obou koncích rozšířena, aby bylo možné vzorek lépe upnout do čelistí dynamického zkušebního zařízení Výukového a výzkumného centra v Dopravě (VVCD). Tvar vzorku je schematicky znázorněn na obrázku č. 8 [5].



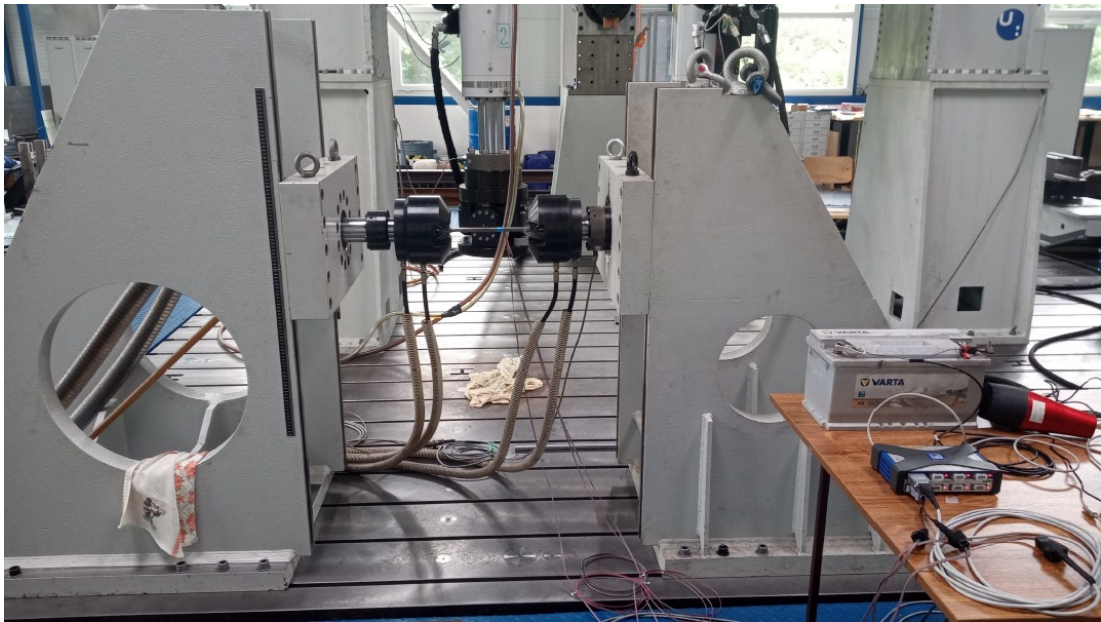
Obrázek 8 Návrh zkušebního tělesa [5, s.54]

Na zkušebním vzorku, který je znázorněn na obrázku č. 9 byly instalovány dvě konfigurace Wheatstoneova můstku – čtvrtmůstek a poloviční můstek. Obě využívaly odporové tenzometry typu HBM K-CLY4-0060-1-350-4-050-Y s jmenovitým odporem 350  $\Omega$ , teplotní kompenzací pro feritickou ocel, čtyřvodičovým připojením a konektorem RJ11. Aktivní a kompenzační tenzometr polovičního můstku byly umístěny tak, že sdílely stejný příčný řez, přičemž čidlo blíže k okraji vzorku plnilo roli kompenzačního prvku [5].



*Obrázek 9 Umístění tenzometrů na zkušební vzorek [5, s. 54]*

Vzorek byl do zkušebního zařízení upnut orientací tenzometry směrem dolů, aby bylo možné provádět řízený ohřev jeho horní strany bez přímého tepelného ovlivnění tenzometrů, jak je vidět na obrázku č. 10. Ohřev byl prováděn ručně pomocí fénu, který se pohyboval po délce vzorku konstantní rychlostí vpřed a vzad, čímž bylo dosaženo jednostranného tepelného zatížení. Tenzometry byly připojeny ke sběrnému systému HBM QuantumX MX840A a data byla zaznamenávána v softwaru Catman Easy. Dynamický stand umožňoval jak řízený posun čelistí podle naměřené síly, tak podle aktuální polohy [5].



*Obrázek 10 Uchycení zkušební vzorku do čelistí dynamického standu [5, s. 55]*

### **3.5.2. Provedená měření**

V rámci experimentu byly realizovány čtyři zkušební režimy, jejichž cílem bylo vyhodnotit odezvu tenzometrických měření při různých kombinacích mechanického a tepelného zatížení vzorku. Porovnávány byly konfigurace čtvrtmůstku a polovičního můstku z hlediska přesnosti měření a vlivu rušivých vlivů [5].

#### **3.5.2.1. Zatížení normálovou silou při konstantní teplotě**

První test byl proveden za konstantní teploty s cílem kalibrovat měření deformace při známé hodnotě zatížení. Ocelový vzorek byl postupně zatěžován podélnou silou od 1 do 30 kN a následně uvolněn zpět na 0 kN. Z odpovídajících deformací byla podle vztahů (3.3) a (3.4) určena normálová napětí [5].

Jelikož čtvrtmůstek a poloviční můstek nereagují na zatížení zcela identicky kvůli jejich zapojení a polohám tenzometrů, bylo nutné zavést kalibrační koeficienty korigující přepočet deformace na napětí. Tyto koeficienty činily 1,1 pro čtvrtmůstkovou konfiguraci a 1,2 pro poloviční můstek. Jejich hodnota byla určena porovnáním naměřené deformace s analyticky vypočteným napětím podle Hookova zákona a odpovídající deformace [5]:

$$\sigma = \varepsilon E \quad (3.2)$$

[5, s. 56] 
$$\sigma_{quarter} = \frac{\varepsilon \cdot E}{1,1} \quad (3.3)$$

[5, s. 56] 
$$\sigma_{half} = \frac{\varepsilon \cdot E}{1,2} \quad (3.4)$$

Kde:  $\sigma$  ... Mechanické napětí v kolejnici [Pa],  
 $\varepsilon$  ... Relativní přetvoření [-],  
 $E$  ... Youngův modul pružnosti materiálu [Pa].

### 3.5.2.2. Tepelné zatížení při oboustranném vetknutí

Ve druhém testu byl vzorek vetknut na obou koncích a následně rovnoměrně zahříván fénem z výchozí teploty 23,8 °C až na 62,1 °C. Během ohřevu a následného ochlazování byly měřeny hodnoty teploty, podélné síly a deformace. Z těchto dat byla určena odpovídající napětí. Test sloužil k vyhodnocení teplotního vlivu na tenzometry v podmínkách bez počátečního mechanického předpětí [5].

Po ochlazení na 25,9 °C došlo k poklesu axiální síly na -1,97 kN a deformace naměřené čtvrtmůstkem na -43 μm/m, zatímco polovičním můstkem na -24 μm/m. Odpovídající napětí dosáhlo hodnoty -8,5 MPa [5].

### 3.5.2.3. Tepelné zatížení s počátečním předpětím

Třetí test navazoval na předchozí scénář, ale vzorek byl před zahájením ohřevu axiálně předpjat silou 30 kN. Měření probíhalo při teplotním rozsahu 22,7 až 61,5 °C. Po ochlazení na 26,4 °C a následném odpojení předpětí došlo k poklesu deformace na 0 μm/m u čtvrtmůstku a -10 μm/m u polovičního můstku. Naměřené hodnoty napětí odpovídaly 0,0 MPa a -2,0 MPa [5].

Tento test simuloval chování vzorku, který je v provozu vystaven kombinaci mechanického předpětí a tepelné zátěže, přičemž se ukázala schopnost tenzometrů zaznamenat kombinovaný účinek obou typů zatížení [5].

#### **3.5.2.4. Tepelné zatížení při jednostranném upnutí**

V posledním experimentu byl vzorek fixován pouze na jednom konci. Řídicí jednotka dynamického standu udržovala nulovou hodnotu síly, což umožnilo volnou dilataci materiálu během ohřevu. Teplota vzorku vzrostla z 25,6 °C na 57,3 °C. Deformace byla měřena nejen tenzometry, ale také pomocí změny vzdálenosti čelistí zkušebního zařízení [5].

Naměřené deformace dosahovaly velmi nízkých hodnot: při maximální teplotě byly 3  $\mu\text{m/m}$  u čtvrtmůstku a  $-2 \mu\text{m/m}$  u polovičního můstku. To odpovídalo napětím v rozmezí 0,5 u čtvrtmůstku a  $-0,5 \text{ MPa}$  u polomůstku, což potvrzuje, že při volné dilataci materiálu dochází pouze k zanedbatelnému vzniku napětí [5].

Tato sada měření poskytla ucelený přehled o chování tenzometrického měření při různých zatěžovacích scénářích a potvrdila vhodnost použitých metod pro detekci mechanického i teplotního působení [5].

#### **3.5.3. Zhodnocení výsledků**

Laboratorní testy prokázaly, že konfigurace čtvrtmůstku Wheatstoneova můstku poskytovala dostatečnou přesnost měření a byla plně použitelná i pro terénní aplikace. Výhodou této konfigurace byla její univerzálnost – bylo ji možné použít nezávisle na tom, zda byl vzorek mechanicky předpjat či nikoli [5].

Zásadní poznatek vzešel ze zkoušky teplotního zatížení s jednostranným upnutím vzorku. V tomto režimu došlo k minimálnímu naměření deformace, což prokázalo vysokou účinnost teplotní samokompensace tenzometrů. Zbývající nelineární část teplotní odezvy, jak uváděl výrobce, měla zanedbatelný dopad a bylo ji možné v počátečních fázích terénního měření ignorovat [5].

Při zatížení normálovou silou za konstantní teploty byla u čtvrtmůstku naměřena směrnice přímky odpovídající hodnotě 20,762, což velmi dobře souhlasilo s analytickým vztahem mezi deformací a zatěžovací silou vycházejícím ze vztahu [5].

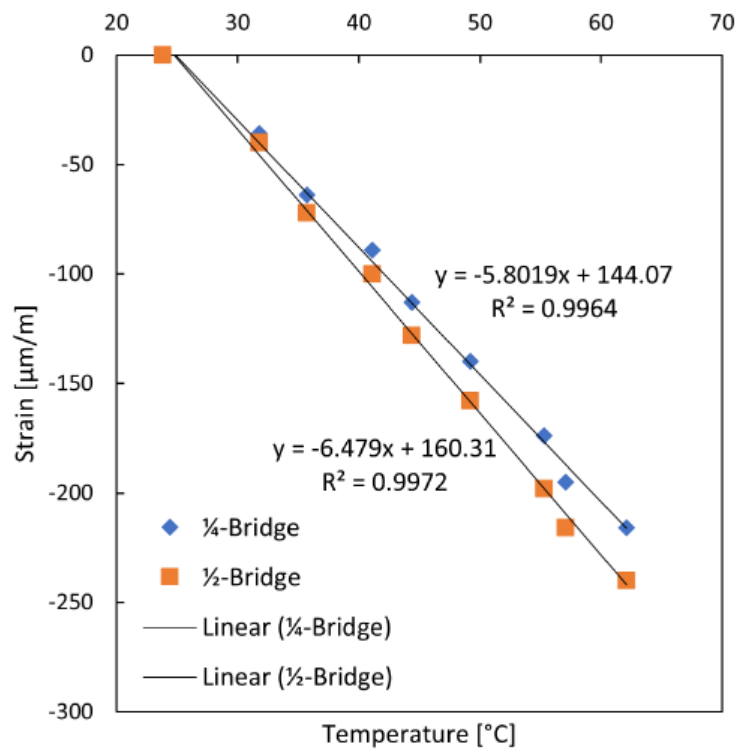
[5, s. 61] 
$$\varepsilon = \frac{1}{E \cdot A} \cdot N \quad (3.5)$$

Kde:  $\varepsilon$  ... Relativní přetvoření [-],  
 $E$  ... Youngův modul pružnosti materiálu [Pa],  
 $A$  ... Plocha průřezu [m<sup>2</sup>],  
 $N$  ... Zatížení osovou silou [N].

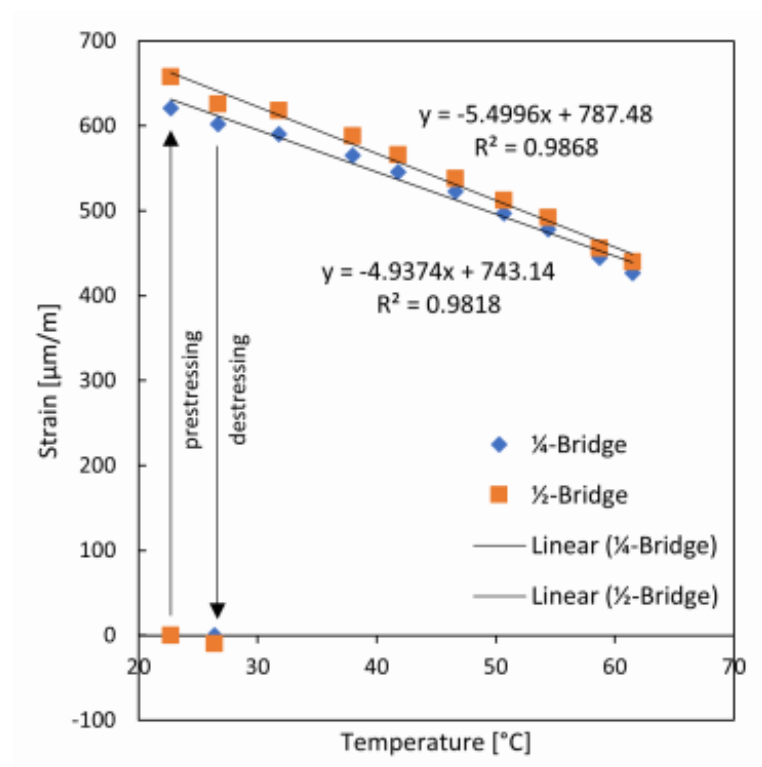
Při uvažování modulu pružnosti  $E = 200$  GPa vycházel tento parametr teoreticky na hodnotu 20. Po zohlednění skutečnosti, že u polovičního můstku byla deformace nesprávně zpracována a musela být následně násobena dvěma, dosáhl sklon křivky přibližně hodnoty 22 [5].

Tato odchylka vedla k zavedení korekčních koeficientů: 1,1 pro čtvrtmůstek a 1,2 pro poloviční můstek. Jejich aplikací bylo dosaženo výborné shody s analytickými výpočty. Příčinou odchylky mohly být výrobní nedokonalosti vzorku nebo nepatrný posun v hydraulických čelistech, což však do doby odevzdání disertační práce zůstalo nevyřešeno [5].

Z hlediska teplotního zatížení při oboustranném vetknutí byly výsledky velmi cenné. Naměřené sklony závislosti deformace na teplotě dosáhly hodnot  $-5,8$  (čtvrtmůstek) a  $-6,5$  (poloviční můstek) bez předpětí, a  $-4,9$  (čtvrtmůstek) a  $-5,5$  (poloviční můstek) při zatížení 30 kN, jak je zobrazeno na grafech č. 1 a 2 [5].



Graf 1 Závislost naměřené deformace na podélné síle (tepelné zatížení při oboustranném vetknutí) [5, s. 58]



Graf 2 Závislost naměřené deformace na podélné síle (tepelné zatížení s počátečním předpětím) [5, s. 59]

To vyvolalo několik zásadních otázek:

- Proč byly tyto sklony záporné?
- Proč dosahovaly právě takových hodnot?
- A jaká byla jejich skutečná fyzikální interpretace?

Na první otázku se podařilo odpovědět:

Pokud by tenzometr nebyl teplotně kompenzovaný, zaznamenal by roztažnost vzorku jako kladnou deformaci. Vzhledem k tomu, že čidla vykazala téměř nulovou změnu při jednostranném upnutí a tepelném zatížení, bylo potvrzeno, že většina teplotně indukované deformace byla tenzometrem eliminována. V případě oboustranného upnutí vzorek fyzicky nemohl expandovat, čímž vznikl stav, jako by byl po ohřevu zpětně stlačen – proto byly výsledné deformace záporné [5].

Odpovědi na otázky týkající se, závislosti zmíněných koeficientů na podmínkách měření a příčin případných odchylek zatím nebyly jednoznačné a zůstávaly otevřeny pro další výzkum.

## 4. Experimentální sestava

Cílem experimentální sestavy je navrhnout a ověřit vhodný způsob ohřevu kolejnice tak, aby splňoval podmínky pro použití v experimentální sestavě. Následuje návrh této experimentální sestavy, která umožní ověření chování různých druhů rezistančních tenzometrů při simulaci podmínek působících na kolejnici.

Konkrétně se jednalo o vzorek experimentální kolejnice, který byl připevněn pomocí navržené sestavy upevnění do dynamického zkušebního stavu na VVCD. Pomocí hydromotoru dynamického zkušebního stavu lze prostřednictvím sestavy upevnění do kolejnice vnášet počáteční osová napětí vyvolané působením síly, případně zajišťovat okrajové podmínky, jako je oboustranné vetknutí kolejnice nebo volný konec.

Zajištění zmíněných okrajových podmínek je důležité především při tepelném namáhání experimentální kolejnice. To zajišťuje soustava ohřevu experimentální kolejnice. Výběr a správné nastavení vhodného způsobu ohřevu kolejnice na základě provedených zkoušek tak, aby splňoval požadovaná kritéria tvoří podstatnou část této kapitoly.

Při tepelném namáhání experimentální kolejnice bylo důležité mít komplexní přehled o její aktuální teplotě. K těmto účelům byl navržen systém teplotních sond umístěných na vybraných místech po celé délce kolejnice. Tento systém teplotních sond byl doplněn o použití laserového teploměru pro zjišťování lokální povrchové teploty kolejnice.

Následoval návrh osazení experimentální kolejnice různými druhy tenzometrů. Konkrétně se jednalo o tenzometry s různou teplotní samokompencí a různým zapojením do Wheatstoneova mostu. Konkrétní rozmístění tenzometrů bylo navrženo tak, aby bylo možné kromě deformací kolejnice od různých druhů namáhání také porovnávat odezvu různých druhů tenzometrů mezi sebou.

Dále následoval návrh již zmíněné sestavy upevnění experimentální kolejnice do dynamického zkušebního stavu. Nejprve byly navrženy všechny součásti sestavy upevnění s ohledem na dostupné materiály a možné zatížení. Následovalo sestrojení 3D modelu celé experimentální sestavy pro odfiltrování možných kolizí jednotlivých součástí. Poté následovalo sestrojení výrobní dokumentace pro provedení úprav již dostupných součástí a výrobu chybějících součástí.

## 4.1. Experimentální Kolejnice

Pro účely experimentu byl ze zásob VVCD vybrán kus kolejnice UIC 60 o délce 2 m. Následně byla experimentální kolejnice (dále jen Ek) podrobena množství úprav, aby ji bylo možné použít v experimentu. Důležité bylo také zjištění materiálu vybrané kolejnice, aby disponovala co možná nejpřesnějšími hodnotami vlastností použité oceli.

### 4.1.1. Materiál experimentální kolejnice

Na obrázku č. 11 je viditelné značení na stejné kolejnici odkazující na konkrétní třídu kolejnicové oceli. Význam značení lze dohledat v příslušném předpisu SŽ.



*Obrázek 11 Označení třídy kolejnicové oceli na experimentální kolejnici*

**Tab. 3** Třídy kolejnicových ocelí, jejich mechanické vlastnosti a značení

Druh oceli	Třída oceli	Tvrdost [HBW]	Pevnost v tahu $R_m$ [MPa]	Značení oceli		Poznámka
				čárová válcovaná značka za znakem výrobce	ražené <sup>1)</sup> písmeno za číslem tavby	
základní	75 ČSD	-	min. 734	<i>není</i>	<i>není</i>	
	85 ČSD - Vk	-	834 – 882	<i>není</i>	X	
	95 ČSD - Vk	-	min. 883	<i>není</i>	H	
	UIC 900 A	-	880 – 1030	— — —	<i>není</i>	
	R220	220 – 260	min. 770	— — —	<i>není</i>	
	<b>R260</b>	<b>260 – 300</b>	<b>min. 880</b>	— — —	<b><i>není</i></b>	
legovaná	100 ČSD – VkMnTi	-	min. 980	<i>není</i>	T	
	110 ČSD - VkMnCr	-	min. 980	<i>není</i>	R	80. léta 20. století
				— — — — — <sup>2)</sup>	<i>není</i>	1. polovina 90. let
	R320Cr	320 – 360	min. 1080	— — — — —	<b><i>není</i></b>	
tepelně upravená	R350HT	350 – 390	min. 1175	— — — —	<b><i>není</i></b>	
	R370CrHT	370 – 410	min. 1280	— — — —	<b><i>není</i></b>	ocel tepelně upravená, nízko-legovaná chromem

Poznámka: Tučně jsou označeny v současnosti vyráběné oceli.

<sup>1)</sup> Pokud se před nebo za raženým číslem tavby vyskytuje některé z písmen A, B, C, D a Z, pak určuje pořadí kolejnice podle polohy v ingotu, eventuálně předlitku (kontislitku).

<sup>2)</sup> Čárová válcovaná značka se nachází před znakem výrobce.

Tabulka 2 SŽ S3 – 4 tab.3 Třídy kolejnicových ocelí, jejich mechanické vlastnosti a značení [12]

Z tabulky č. 2 plyne, že se může jednat o dvě různé třídy ocelí, a to UIC 900 A a R260. V České republice ovšem uvedené značení připadá spíše materiálu R260, neboť tento materiál odpovídá standardizovaným požadavkům Správy železnic vyplývající z normy ČSN EN 13674–1. Tato norma kromě jiného specifikuje profily různých druhů kolejnic, třídy ocelí včetně jejich chemického složení, předepisuje značení kolejnic a určuje způsoby zkoušení jejich vlastností z tabulky č. 3.

Tabulka 1 – Třídy ocelí

Třída oceli <sup>a</sup>		Rozsah tvrdosti (HBW)	Popis	Čárové značky	
Značka oceli	Číselné označení oceli				
R200	1.0521	200 až 240	nelegovaná (C-Mn) tepelně nezpracovaná	bez čárových značek	
R220	1.0524	220 až 260	nelegovaná (C-Mn) tepelně nezpracovaná	----	
R260	1.0623	260 až 300	nelegovaná (C-Mn) tepelně nezpracovaná	— ----	
R260Mn	1.0624	260 až 300	nelegovaná (C-Mn) tepelně nezpracovaná	---- ----	
R320Cr	1.0915	320 až 360	legovaná (1 %Cr) tepelně nezpracovaná	---- ---- ----	
R350HT	1.0631	350 až 390 <sup>b</sup>	nelegovaná (C-Mn) tepelně zpracovaná	— ----	----
R350LHT	1.0632	350 až 390 <sup>b</sup>	nelegovaná (C-Mn) tepelně zpracovaná	— ---- —	----
R370CrHT	1.0992	370 až 410	legovaná (C-Mn) tepelně zpracovaná	— ---- ----	----
R400HT	1.1254	400 až 440	nelegovaná (C-Mn) tepelně zpracovaná	---- ----	----

<sup>a</sup> Chemické složení a mechanické vlastnosti viz tabulku 5 a) a tabulku 5 b).  
<sup>b</sup> Požadavky na tvrdost viz tabulku 6.

Tabulka 3 Třídy kolejnicových ocelí a jejich značení [13, s. 13]

Norma ČSN EN 13674–1 určuje pravidla pro válcovaná značení na kolejnicích. Především určuje povinné náležitosti, které toto značení musí obsahovat:

„Válcované značky musí zahrnovat:

- a) označení válcovny;
- b) třídu oceli podle tabulky 1;
- c) poslední dvě číslice roku výroby
- d) označení profilu kolejnice podle přílohy A.“ [13, s. 13]



Obrázek 12 Kompletní válcované značení Ek

Díky tomuto popisu lze rozklíčovat kompletní značení na experimentální kolejnici patrné z obrázku č. 12, které zní: značka válcovny, TZ 99 UIC 60, značení třídy oceli.

Jedná se tedy o válcovnu Třinecké železářny a.s., rok výroby Ek je 1999, profil kolejnice je UIC 60 a třída oceli je R260 dle ČSN EN 13674–1 tab.2.

Název profilu kolejnice UIC 60 se již při výrobě nových kolejnic nepoužívá. Tento profil byl přejmenován na 60 E1 se zachováním jeho geometrických vlastností. K přejmenování došlo v rámci zavedení nového profilu s názvem 60 E2. Oba profily

jsou si velmi podobné. Liší se pouze v mírně rozdílné geometrii hlavy kolejnice dle zdroje [12].

Z toho vyplývá, že název profilu 60 E1 je pouze novější verzí dříve používaného UIC 60. Tyto dva profily jsou plně zaměnitelné a v jejich geometrii není rozdíl.

Pro určení chemických vlastností oceli, ze které byla vyrobena experimentální kolejnice lze opět použít normu ČSN EN 13674–1. V tabulce č. 4 jsou zobrazeny chemické příměsi a základní mechanické vlastnosti jednotlivých tříd kolejnicových ocelí, a to včetně oceli R260 použité pro výrobu Ek.

#### **4.1.2. Úpravy experimentální kolejnice**

Experimentální kolejnice musela před použitím v experimentální sestavě projít řadou úprav. Byl zaveden systém měřících profilů, dále byla na základě těchto měřících profilů představena měřící konvence pro orientaci Ek v prostoru a v neposlední řadě byly provedeny vrtané otvory nejen pro realizaci oboustranného vetknutí Ek v měřící sestavě, ale i pro osazení držáků topných spirál, realizaci elektrického uzemnění, nebo osazení teplotních sond.

##### **4.1.2.1. Zavedení měřících profilů a měřící konvence experimentální kolejnice**

Zavedení měřících profilů neboli řezů bylo důležité především při realizaci zkoušek různých metod ohřevu. Při těchto zkouškách se teplota Ek v prvotních fázích zjišťovala pomocí laserového teploměru na povrchu kolejnice. Při odečtech teploty Ek touto metodou bylo nutné definovat konkrétní body, ve kterých odečty teploty budou probíhat. Měřící profily jsou od sebe vzdáleny vždy 20 cm a jsou vedeny po celé délce Ek. To odpovídá celkem jedenácti měřícím profilům při zahrnutí nultého a desátého profilu na samém začátku a konci Ek. Podrobné znázornění měřících profilů je uvedeno na obrázku č. 13, přičemž celý výkres je k dispozici v příloze 1

Tabulka 5a) – Chemické složení a mechanické vlastnosti

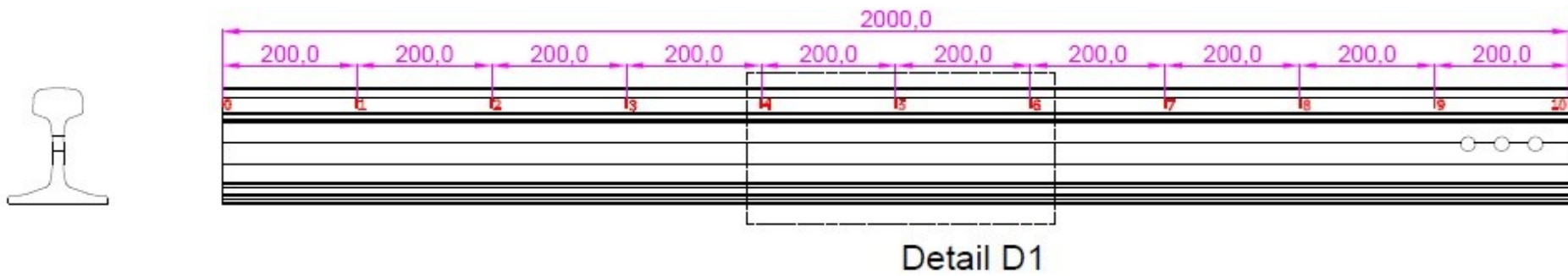
Třída oceli		Hmotnostní podíly v %									10 <sup>-4</sup> % (ppm) max.		Pevnost v tahu R <sub>m</sub> min. MPa	Tažnost A min. %	Tvrdość v ose pojižděné plochy <sup>c</sup> HBW
Název	Vzorek	C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr	Al max.	V max.	N max.	O <sup>a</sup>	H <sup>b</sup>			
R200	tekutý tuhý	0,40 až 0,60 0,38 až 0,62	0,15 až 0,58 0,13 až 0,60	0,70 až 1,20 0,65 až 1,25	0,035 0,040	0,035 0,040	≤ 0,15 ≤ 0,15	0,004 0,004	0,030 0,030	0,009 0,010	20 20	3,0 3,0	680	14	200 až 240
R220	tekutý tuhý	0,50 až 0,60 0,48 až 0,62	0,20 až 0,60 0,18 až 0,62	1,00 až 1,25 0,95 až 1,30	0,025 0,030	0,025 0,030	≤ 0,15 ≤ 0,15	0,004 0,004	0,030 0,030	0,009 0,010	20 20	3,0 3,0	770	12	220 až 260
R260	tekutý tuhý	0,62 až 0,80 0,60 až 0,82	0,15 až 0,58 0,13 až 0,60	0,70 až 1,20 0,65 až 1,25	0,025 0,030	0,025 0,030	≤ 0,15 ≤ 0,15	0,004 0,004	0,030 0,030	0,009 0,010	20 20	2,5 2,5	880	10	260 až 300
R260Mn	tekutý tuhý	0,55 až 0,75 0,53 až 0,77	0,15 až 0,60 0,13 až 0,62	1,30 až 1,70 1,25 až 1,75	0,025 0,030	0,025 0,030	≤ 0,15 ≤ 0,15	0,004 0,004	0,030 0,030	0,009 0,010	20 20	2,5 2,5	880	10	260 až 300
R320Cr	tekutý tuhý	0,60 až 0,80 0,58 až 0,82	0,50 až 1,10 0,48 až 1,12	0,80 až 1,20 0,75 až 1,25	0,020 0,025	0,025 0,030	0,80 až 1,20 0,75 až 1,25	0,004 0,004	0,18 0,20	0,009 0,010	20 20	2,5 2,5	1 080	9	320 až 360
R350HT	tekutý tuhý	0,72 až 0,80 0,70 až 0,82	0,15 až 0,58 0,13 až 0,60	0,70 až 1,20 0,65 až 1,25	0,020 0,025	0,025 0,030	≤ 0,15 ≤ 0,15	0,004 0,004	0,030 0,030	0,009 0,010	20 20	2,5 2,5	1 175	9	350 až 390
R350LHT	tekutý tuhý	0,72 až 0,80 0,70 až 0,82	0,15 až 0,58 0,13 až 0,60	0,70 až 1,20 0,65 až 1,25	0,020 0,025	0,025 0,030	≤ 0,30 ≤ 0,30	0,004 0,004	0,030 0,030	0,009 0,010	20 20	2,5 2,5	1 175	9	350 až 390
R370CrHT	tekutý tuhý	0,70 až 0,82 0,68 až 0,84	0,40 až 1,00 0,38 až 1,02	0,7 až 1,10 0,65 až 1,15	0,020 0,025	0,020 0,025	0,40 až 0,60 0,35 až 0,65	0,004 0,004	0,030 0,030	0,009 0,010	20 20	1,5 1,5	1 280	9	370 až 410
R400HT	tekutý tuhý	0,90 až 1,05 0,88 až 1,07	0,20 až 0,60 0,18 až 0,62	1,00 až 1,30 0,95 až 1,35	0,020 0,025	0,020 0,025	≤ 0,30 ≤ 0,30	0,004 0,004	0,030 0,030	0,009 0,010	20 20	1,5 1,5	1 280	18 <sup>c</sup>	400 až 440

<sup>a</sup> Viz 9.1.3.3.  
<sup>b</sup> Viz 9.1.3.2.  
<sup>c</sup> Viz obrázek 8.

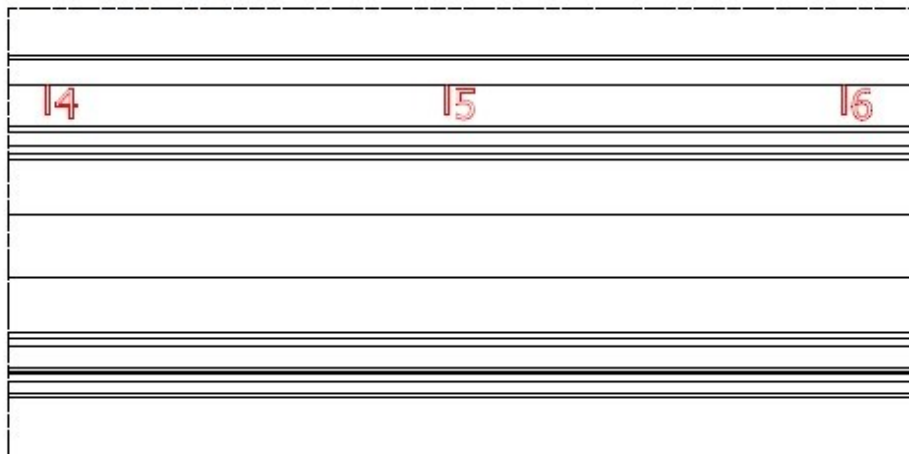
Tabulka 5b) – Maximální hodnoty zbytkových prvků v % hmotnosti

	Mo	Ni	Cu	Sn	Sb	Ti	Nb	Cu + 10 Sn	Ostatní
R200, R220, R260, R260Mn	0,02	0,10	0,15	0,030	0,020	0,025	0,01	0,35	0,35 (Cr+Mo+Ni+Cu+V)
R320Cr	0,02	0,10	0,15	0,030	0,020	0,025	0,01	0,35	0,16 (Ni+Cu)
R350HT	0,02	0,10	0,15	0,030	0,020	0,025	0,04	0,35	0,25 (Cr+Mo+Ni+Cu+V)
R350LHT, R370CrHT, R400HT	0,02	0,10	0,15	0,030	0,020	0,025	0,04	0,35	0,20 (Mo+Ni+Cu+V)

Tabulka 4 Chemické vlastnosti a mechanické vlastnosti jednotlivých tříd oceli [13, s. 20]



Detail D1 2,5x



Obrázek 13 Nákres značení měřících profilů experimentální kolejnice

Fyzické značení měřicích profilů na Ek je realizováno permanentní fixou pouze na jedné straně hlavy Ek znázorňuje obrázek č. 14.



*Obrázek 14 Fyzické značení měřicích profilů experimentální kolejnice*

Tento jednostranný způsob značení s sebou přináší výhodu zavedení měřicí konvence. Experimentální kolejnice je totiž osově souměrná podle příčné osy. Bez zavedení konvence tedy nelze určit levý, nebo pravý konec Ek.

Po vyznačení měřicích profilů pouze z jedné strany Ek je znění měřicí konvence takové, že veškeré teplotní odečty laserovým teploměrem jsou realizovány na straně se značením. Levá a pravá strana Ek bude zároveň určena z pohledu na stranu, kde je umístěno značení měřicích profilů.

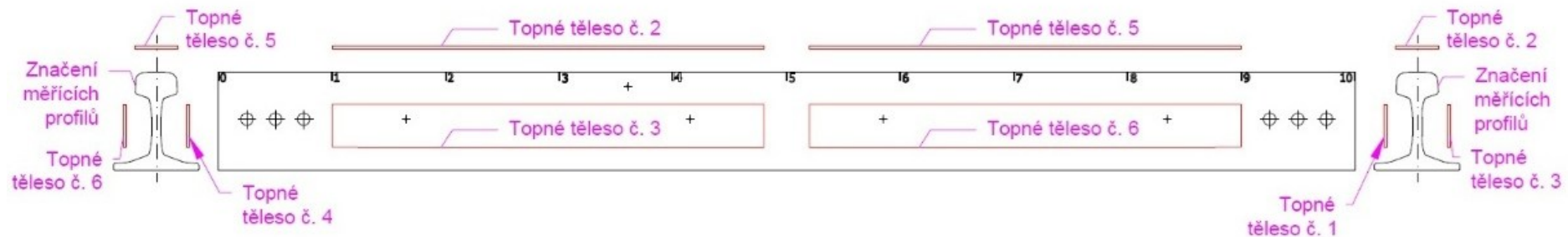
Po zavedení ohřevu Ek pomocí topných těles se tato konvence začala uplatňovat také ve vztahu k číslování topných těles. Celkově bylo na kolejnici osazeno šest topných těles, a pokud se některé z nich chovalo nestandardně, bylo zapotřebí toto těleso a jeho umístění konkrétně popsat. Číslování topných těles v tomto případě vypadá následovně. Topným tělesům byla přiřazena čísla dle jejich umístění na kolejnici, a to 1–6. Trojice topných těles umístěných na polovině Ek, kde se nachází měřicí profily 0–5 mají čísla 1–3. Topné těleso umístěné na boku Ek, podél stojiny, a to na straně,

kde nejsou značeny měřicí profily permanentní fixou má číslo 1. Topné těleso umístěné nad hlavou Ek má číslo 2 a topné těleso umístěné na boku Ek podél stojiny na straně, kde jsou vyznačeny měřicí profily permanentní fixou má číslo 3.

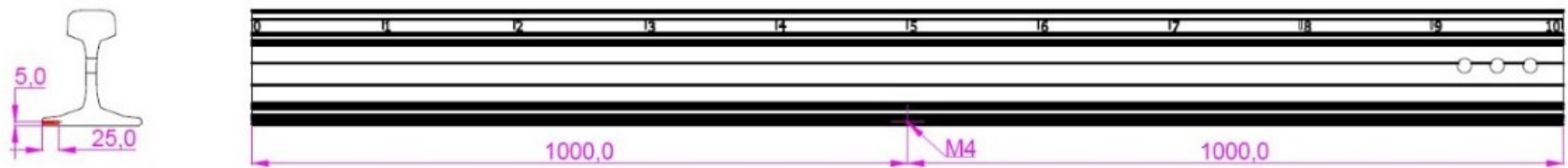
Obdobně je číslování zavedeno i na druhé straně kolejnice, kde se nachází měřicí profily 5–10. Na boku Ek podél stojiny na straně, kde není značení měřících profilů má topné těleso číslo 4, nad hlavou Ek má topné těleso číslo 5 a na boku podél stojiny, kde je značení měřících profilů má topné těleso číslo 6. Pro snadnější orientaci je číslování zřetelně uvedeno na obrázku č. 15, přičemž celý výkres je obsažen v příloze 2.

#### **4.1.2.2. Vrtané otvory do experimentální kolejnice**

Při prvních testech ohřevu pomocí odporových topných těles bylo zapotřebí zajistit elektrické uzemnění kolejnice, neboť docházelo ke kontaktu Ek s elektrickým zařízením. Nejvhodnější způsob, jak toho docílit, bylo zřízení zemnicího bodu na kolejnici. Zemnicí bod byl zřízen odvrtáním otvoru o hloubce 25 mm v patě kolejnice a uprostřed její délky. Následovalo vyřezání závitu M4 pro uchycení ochranných vodičů měděným šroubem k tělesu kolejnice. Detailní umístění vrtaného otvoru pro zemnicí bod je znázorněno na obrázku č. 16, přičemž celý výkres je součástí přílohy 3.



Obrázek 15 Číslování topných těles a jejich umístění

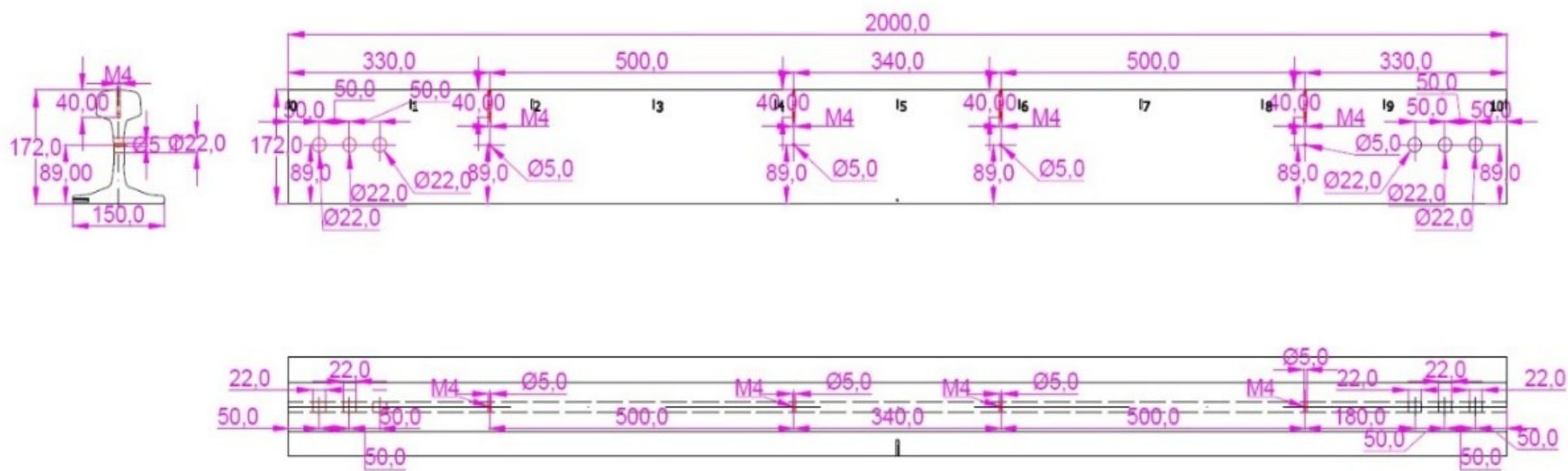


Obrázek 16 Nákres vrtaného otvoru zemníciho bodu

Po ověření funkčnosti topných těles a prvotních testech ohřevu Ek se začal hledat sofistikovaný způsob uchycení topných těles, který by je udržoval v určité vzdálenosti od povrchu Ek. Díky jednoduchosti a předpokládané spolehlivosti byl z přednesených návrhů zvolen způsob uchycení topných těles pomocí závitových tyčí kotvených v hlavě a stojině Ek.

Realizace tohoto řešení s sebou ovšem nesla nutnost dalších úprav Ek v podobě vrtaných otvorů. Otvory se na kolejnici nachází celkem ve čtyřech profilech tak, aby každé topné těleso bylo kotveno na dvou místech, zhruba v první čtvrtině jejich délky z obou stran. V každém profilu jsou dva otvory. Jeden otvor s metrickým závitem M4 a hloubkou 40 mm v hlavě kolejnice slouží k umístění závitové tyče pro uchycení horního topného tělesa. Druhý otvor prochází skrze stojinu kolejnice. Má průměr 5 mm a je bez závitu. Slouží totiž k prostrčení téže závitové tyče, avšak v tomto případě je místo závitu na místě uchycena dvojicí matic z obou stran stojiny Ek. Tato závitová tyč slouží ke kotvení bočních topných těles.

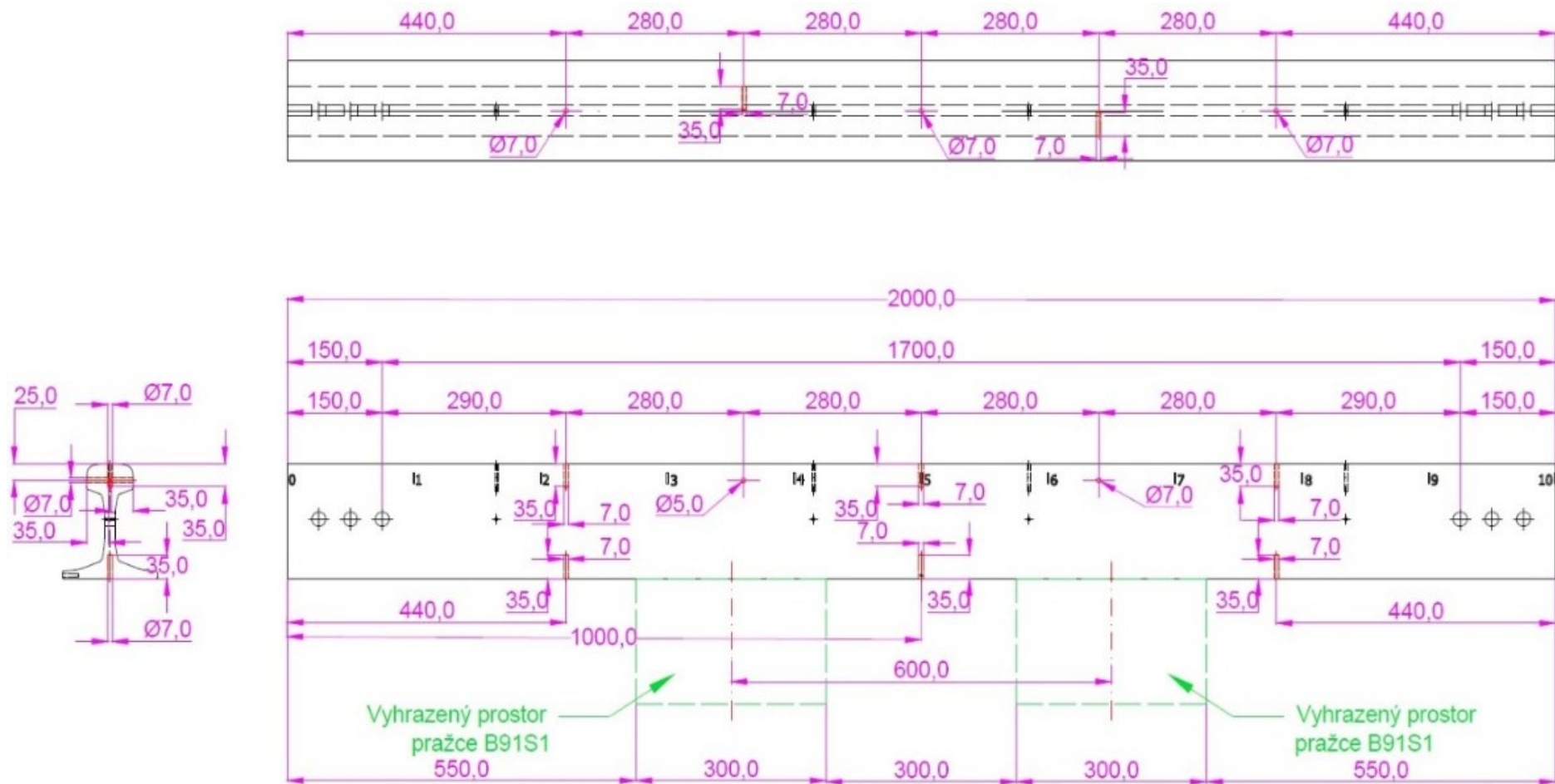
Kromě otvorů pro uchycení topných těles byly v této fázi odvrtány ještě další tři otvory o průměru 22 mm. Tyto otvory jsou shodné s již existujícími otvory umístěnými v blízkosti u pravého konce kolejnice. Jsou pouze ozrcadlené podle příčné osy Ek na levou stranu. Tyto dvě trojice otvorů prochází skrze stojinu kolejnice a budou sloužit pro uchycení kolejnice do experimentální sestavy a zajištění jejího vetknutí z obou stran. Detailní umístění a specifikace zmíněných otvorů jsou patrné z obrázku č. 17, přičemž celý výkres je obsažen v příloze 4



Obrázek 17 Nákres vrtaných otvorů pro realizaci vetknutí a pro uchycení topných těles

Poslední série úprav Ek pomocí vrtaných otvorů byla pro umístění teplotních sond přímo dovnitř kolejnice. Tohle řešení umožnilo sledování skutečné teploty uvnitř materiálu Ek oproti povrchovému měření laserovým teploměrem.

Celkem bylo vyvrtáno 8 otvorů o průměru 7 mm a hloubce 35 mm pro umístění sedmi teplotních sond. Otvory jsou rozmístěny po dvojicích do třech profilů, kde v každém profilu je jeden otvor kolmo shora do hlavy kolejnice a jeden kolmo zespod do paty kolejnice. Zbylé dva otvory jsou umístěny samostatně do boční strany hlavy kolejnice tak, že se jeden otvor nachází na jedné a druhý na druhé straně hlavy kolejnice. Tyto otvory slouží jako variabilní a při měření je teplotní sondou osazen vždy pouze jeden z nich, vzhledem k celkovému počtu teplotních sond. Detail umístění jednotlivých otvorů je zobrazen na obrázku č. 18, celý výkres pak naleznete v příloze 5.



Obrázek 18 Náskres vrtaných otvorů pro umístění teplotních sond

## 4.2. Ohřev kolejnice pomocí elektro – magnetické indukce

První variantou způsobu ohřevu Ek pro účely experimentu se jevil ohřev pomocí elektro – magnetické indukce. Důvodem byla především dostupnost zařízení pro indukční ohřev v areálu VVC Doubravice.

Pro tento účel byl použit indukční ohříváč DRAGON IHD 1000 od společnosti TEKNEL, který je znázorněn na obrázku č. 19 ve spojení s indukční smyčkou určenou pro lokální ohřev materiálu, zobrazenou na obrázku č. 20. V rámci přílohy 6 je rovněž obsažena technická dokumentace k tomuto zařízení.



Obrázek 19 Obrázek indukčního ohříváče



*Obrázek 20 Indukční smyčka pro lokální ohřev*

Způsob ohřevu pomocí tohoto zařízení tkvěl v manuálním držení indukční smyčky přibližně 1–2 cm nad povrchem experimentální kolejnice. Jelikož se jednalo o indukční smyčku pouze pro lokální ohřev, počítalo se s jejím pohybem ze strany na stranu nad povrchem kolejnice k dosažení rovnoměrného ohřevu.

Při uskutečnění zkoušky ohřevu tímto zařízením bylo zjištěno, že kvůli těžké manipulaci s lokální indukční smyčkou v průběhu ohřevu není v lidských silách pohyb ze strany na stranu v tak těsné blízkosti nad povrchem kolejnice. Spoléhalo se tedy pouze na držení indukční smyčky nad povrchem kolejnice pouze v jednom bodě uprostřed a na dostatečnou distribuci tepla v materiálu.

Výsledky zkoušky potvrdily obavy o nerovnoměrnosti zahřátí experimentální kolejnice. Tento způsob ohřevu byl vyhodnocen jako nevhodný pro účely experimentu a bylo od něj upuštěno.

### 4.3. Ohřev kolejnice pomocí infrazářičů

Dalším způsobem ohřevu experimentální kolejnice byla dvojice infrazářičů EUROM Safe – T – Shine 900 W zobrazeny na obrázku č. 21. Tyto zářiče byly zvoleny, neboť byly dostupné v areálu VVCD, měly dostatečný výkon pro účely experimentu a byly bezpečné. Technické specifikace těchto zařízení jsou dostupné v příloze 7.



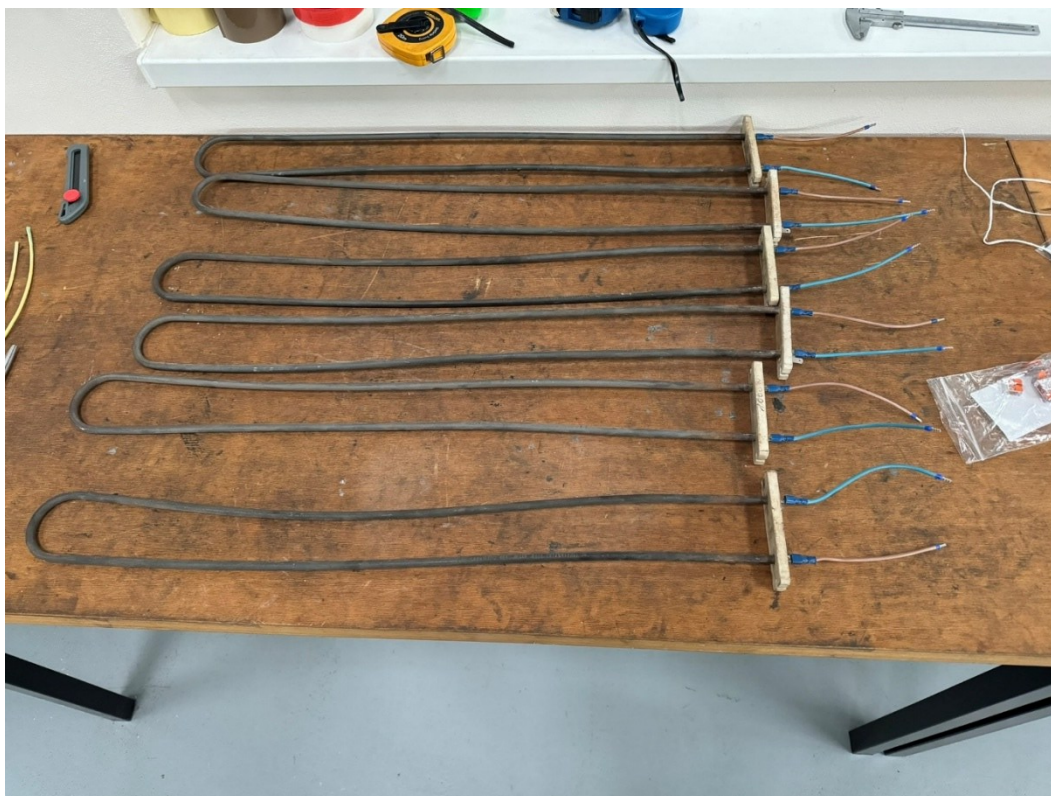
*Obrázek 21 Dvojice infrazářičů při zkoušce ohřevu Ek*

Ohřev těmito zářiči spočíval v jejich umístění do třetin délky experimentální kolejnice ve vzdálenosti zhruba 1 m od povrchu. Zkouška ohřevu prokázala, že tyto zářiče dokáží experimentální kolejnici zahřát o 10 °C, což je pro účely experimentu dostatečné. Dále se také prokázalo rovnoměrné zahřátí v podélném směru při odečtech teploty na straně kolejnice, která byla od zářičů odvrácena. Bohužel ve srovnání „ozářená“ strana kolejnice versus ta odvrácená byly naměřeny již značné rozdíly teplot. Nelze tedy mluvit o rovnoměrném ohřevu v příčném směru.

Ohřev pomocí infrazářičů byl vyhodnocen jako vhodný pro simulaci reálných podmínek na trati, kdy je většinou pouze jedna strana kolejnice vystavena slunečnímu záření a pro účely experimentu se s ním dále počítalo jako se záložním řešením.

#### 4.4. Ohřev kolejnice pomocí odporových topných těles

Během návrhu ohřevné soustavy zkušební kolejnice se naskytla možnost nákupu šesti topných těles (spirál) znázorněny na obrázku č. 22, které byly původně použity jako zdroj tepla v akumulčních kamnech. Tato topná tělesa se na první pohled jevila jako vhodná volba pro ohřev experimentální kolejnice, neboť měla optimální velikost, tvar a dostatečný elektrický výkon.



*Obrázek 22 Topná tělesa po instalaci propojovacích vodičů*

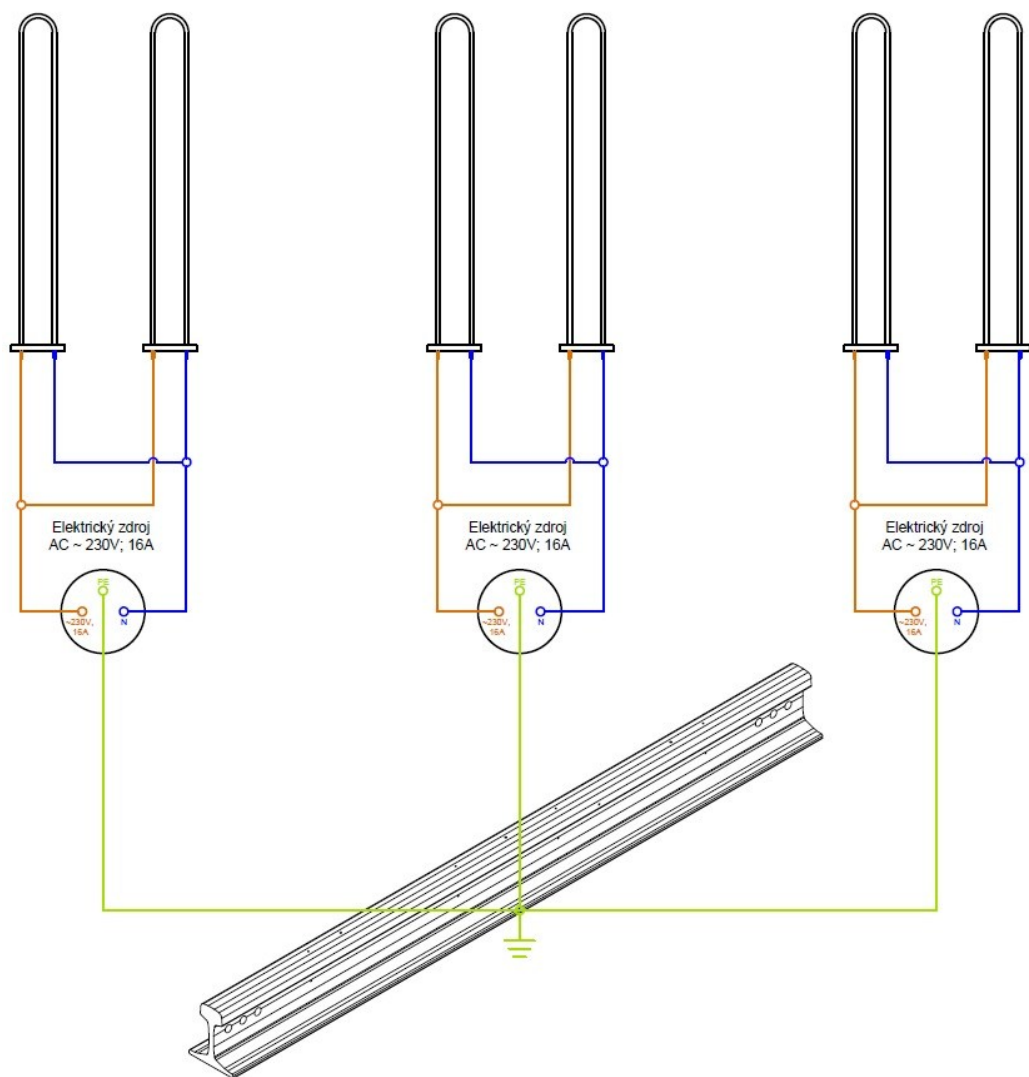
##### 4.4.1. Popis topných těles

Vybraná topná tělesa (spirály) generují teplo za pomoci izolovaného odporového drátu, který je veden uprostřed těla topné spirály tak, aby nedošlo k jeho dotyku s tělem spirály. Elektrická izolace mezi odporovým drátem a tělem topné spirály je obvykle zajištěna pomocí vysypání prostoru křemičitým pískem. Elektrický výkon každé spirály je 1000 W. Podrobné rozměry topných těles jsou patrné z obrázku č.23.

##### 4.4.2. Elektrické zapojení topných těles

Topná tělesa byla dodána pouze jako elektrické součástky bez možnosti okamžitého připojení do elektrické sítě. Z toho důvodu bylo zhotoveno jednoduché schéma

elektrického zapojení, jehož součástí je všech šest topných těles. Při návrhu tohoto schématu byl kladen důraz na jednoduchost, bezpečnost a proveditelnost řešení v podmínkách laboratoře VVCD. Topná tělesa jsou zapojena paralelně po dvojicích do třech elektrických obvodů. Připojení k elektrické síti je poté realizováno trojicí jednofázových zásuvek. Uzemnění těchto tří obvodů je řešeno zemnicím bodem přímo na Ek, kde se setkávají zemnicí vodiče od všech třech elektrických obvodů, jak je znázorněno na obrázku č. 23.



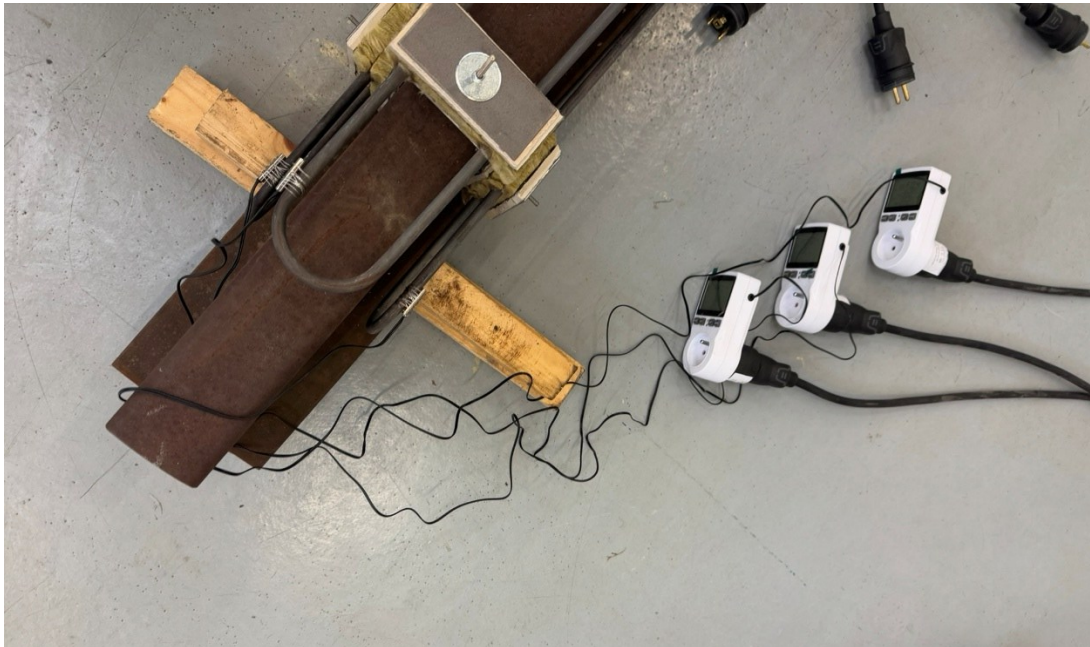
Obrázek 23 Schéma elektrického zapojení topných těles

#### 4.4.3. Regulace výkonu topných těles

Při prvotních testech ohřevu byl zjištěn příliš vysoký výkon topných těles, což mělo za následek rychlé a nestejněné zahřívání experimentální kolejnice. Přistoupilo se tedy k návrhu řešení regulace výkonu topných těles.

#### 4.4.3.1. Regulace pomocí digitálních termostatů

Prvním řešením byla regulace pomocí trojice digitálních termostatů s teplotními sondami, jak je znázorněno na obrázku č. 24. Tohle řešení spočívalo v zapojení digitálních termostatů do elektrického obvodu tak, že každý termostat reguloval jednu dvojici topných těles. Následovalo umístění teplotních sond od termostatu přímo na tělo jednoho z dvojice regulovaných topných těles. Na digitálních termostatech byly následně nastaveny dvě teplotní hodnoty. Jedna určovala teplotu z teplotní sondy, při které se termostat přepne do stavu ON, tím sepne elektrický obvod a spustí se ohřívání. Druhá určovala teplotu z teplotní sondy, při které se termostat přepne do stavu OFF a tím přeručí ohřívání příslušné dvojice topných těles. Bližší technická specifikace těchto zařízení je dostupná v příloze 8.



*Obrázek 24 Připojení teplotních sond termostatů na topná tělesa*

V rámci testů ohřevu za použití tohoto systému digitálních termostatů bylo docíleno regulace maximálních teplot topných spirál, které bez regulace často přesahovaly teplotu 400 °C, ale bohužel nedocházelo k regulaci samotného elektrického výkonu. Topná tělesa disponují velmi rychlým nástupem teploty na povrchu po jejich zapnutí, na což termostaty reagovaly opožděně. Následkem byly daleko vyšší reálné teploty na povrchu topných těles v okamžiku vypnutí termostatu, než byla požadovaná hodnota pro vypnutí. Tím pádem se hodnota teploty z teplotních sond zvyšovala ještě dlouho po překonání teploty pro vypnutí termostatu a následovalo zdlouhavé chladnutí, než

došlo k opětovnému sepnutí termostatu. Po několika ohřevných cyklech termostaty začaly spínat každý v jinou dobu, což se projevilo na nestejněmnosti ohřevu Ek. Po několika testech ohřevu s tímto systémem za použití různých konfigurací termostatů bylo od tohoto způsobu regulace upuštěno.

#### 4.4.3.2. Regulace pomocí regulátorů napětí

Regulace pomocí digitálních termostatů byla nahrazena trojicí triakových regulátorů elektrického napětí, které pracují na principu fázového řízení střídavého napětí pomocí triaku. Řídicí obvod určuje okamžik sepnutí triaku během sinusového průběhu napětí, čímž omezuje množství energie dodávané do zátěže. Výkon topných těles tak lze plynule regulovat změnou efektivního napětí, aniž by bylo nutné měnit elektrický odpor.

Stejně jako u regulace pomocí digitálních termostatů byly použity celkem tři zařízení, každé pro jednu dvojici topných těles. Každý regulátor disponuje potenciometrem a digitálním displejem, jak je znázorněno na obrázku č. 25. Pomocí potenciometru lze plynule regulovat efektivní napětí. Hodnota napětí ve Voltech, které aktuálně proudí do spotřebiče (topných těles) je zobrazována na displeji. Výhoda zvolených regulátorů tkví v tom, že se jedná o hotový uzavřený spotřebič připravený na připojení do sítě pomocí zásuvky na 230 V, nikoli pouhou elektronickou součástí, u které by se musel řešit způsob zapojení, pouzdro, nebo případné revize. Důležitý byl také správný výběr vhodného zařízení. Každá dvojice topných těles má celkový elektrický výkon při paralelním zapojení 2000 W. Pro účely experimentu byla tedy vybrána varianta regulátorů pro maximální napětí 230 V, maximální odporovou zátěž až 4000 W, což poskytuje dostatečnou rezervu a maximální proud 10 A. Hodnota maximálního proudu se zdála být omezujícím prvkem, neboť celý elektrický obvod byl dimenzován s rezervou na 16 A, proto byla možnost použití tohoto typu regulátoru ověřena výpočtem z odvozeného vztahu obecného Ohmova zákona:

$$I = \frac{P}{U} \quad (4.1)$$

Kde:  $I$  ... Elektrický proud [A],  
 $P$  ... Elektrický výkon [W],  
 $U$  ... Elektrické napětí [V].

Po dosazení hodnot:  $P = 2000 \text{ W}$  a  $U = 230 \text{ V}$  vychází:

$$I = \frac{2000}{230} = 8,7 \text{ A}$$

Dle výpočtu je maximální proud v obvodu menší než 10 A, což potvrdilo možnost použití tohoto typu regulátoru. Pro zajištění maximální bezpečnosti regulátory disponují i proudovou ochranou pro případ, že by hodnota maximálního dovoleného proudu byla překročena. Kompletní technické specifikace těchto zařízení jsou dostupné v příloze 9.



*Obrázek 25 Trojice regulátorů napětí při zkoušce ohřevu*

V rámci zkoušek ohřevu se tento způsob regulace osvědčil jako spolehlivý a variabilní. Rychlost ohřevu lze efektivně korigovat nastavenou hodnotou napětí na regulátorech. U všech třech regulátorů lze nastavit velmi podobné hodnoty napětí, takže ohřev kolejnice je rovnoměrný. V případě, že by se některá ze stran kolejnice ohřívala méně než ostatní, lze jednoduše zvýšit hodnotu napětí regulátoru příslušné dvojice topných

těles a teplotní rozdíl tímto způsobem dorovnat. Nevýhodou je pouze lehká změna nastavené hodnoty napětí na displeji v průběhu ohřevu. Když je například na začátku ohřevu na regulátorech nastavena hodnota napětí 30 V, v průběhu ohřevu se tato hodnota samovolně zvyšuje až třeba na hodnotu o 10 V vyšší. Tyto změny připisují změnám elektrického odporu topných těles v průběhu jejich ohřevu, na což regulátor není schopen reagovat a tyto změny kompenzovat. Tyto změny jsou zanedbatelné a rovnoměrnost, nebo rychlost ohřevu  $E_k$  ovlivňují minimálně.

#### **4.4.4. Uchycení topných těles na kolejnici**

Návrh uchycení topných těles na experimentální kolejnici obsahoval několik variant řešení. Vždy se však počítalo s rozmístěním šesti topných těles tak, aby byl ohřev experimentální kolejnice co nejvíce rovnoměrný. To znamenalo uchytit dvě dvojice topných těles ze stran podél stojiny kolejnice a jednu dvojici topných těles shora na temeno experimentální kolejnice.

Původně se počítalo s nutností uchytit topná tělesa co možná nejbližší povrchu kolejnice, a to z důvodu lepší distribuce tepla a zmírnění tepelných ztrát. Z tohoto způsobu uchycení se nakonec ustoupilo a nahradilo jej elektricky izolované uchycení ve větší vzdálenosti od povrchu kolejnice.

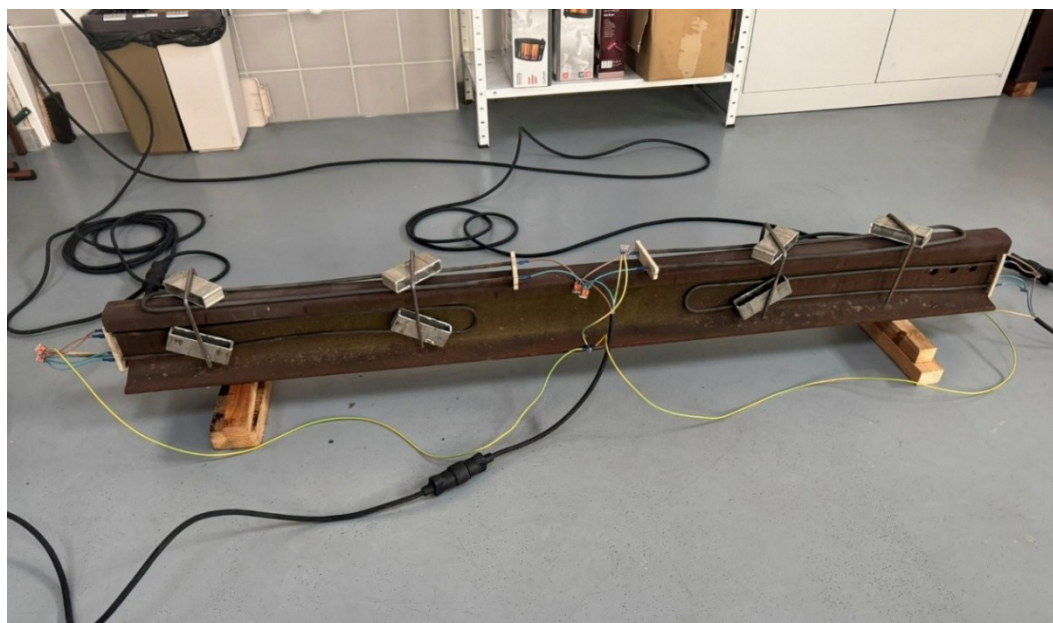
##### **4.4.4.1. Kontaktní uchycení**

První způsob uchycení spočíval v instalaci čtyř per z betonářské oceli o průměru 8 mm, ohýbaných do tvaru písmene U, což je znázorněno na obrázku č. 26. Tato pera byla umístěna ve čtyřech místech po délce kolejnice tak, že jejich konce zajišťovaly přítlak topných těles ke stojině kolejnice ze stran, zatímco střed pera zajišťoval přítlak k hlavě kolejnice z horní strany. Pro lepší distribuci přítlaku a vymezení prostoru mezi pery a topnými tělesy byly použity kusy hliníkového tenkostěnného profilu obdélníkového průřezu.

Topná tělesa z boku kolejnice byla v tomto případě otočena tak, že se přívody elektřiny nacházely na koncích experimentální kolejnice. Porcelánová destička, která je součástí topných těles a rozděluje elektrické zapojení od topné části byla příliš široká. Nevešla by se do prostoru podél stojiny kolejnice, a tak bylo nutné topná tělesa umístit až za konce kolejnice. Dvojice topných těles umístěných na hlavě kolejnice byla otočena přívody elektřiny ke středu kolejnice. Zde rozměry porcelánových destiček nehrály

roli. Při tomto rozmístění vznikal veprostřed kolejnice velký prostor bez ohřevu, což by se nepochybně negativně projevilo na rovnoměrnosti ohřevu kolejnice.

Výhodou kontaktního uchycení topných těles na kolejnici byl nejlepší způsob předání tepla a minimalizace tepelných ztrát. Při zkouškách ohřevu za použití kontaktního uchycení bylo zjištěno, že při zahřívání topných těles dochází ke snížení izolačního odporu jejich obalu, což při kontaktu s kolejnicí mělo za následek vypnutí proudového chrániče. Dále bylo zjištěno, že při použití všech šesti topných těles ohřívací sestava disponovala dostatečným tepelným výkonem pro ohřev kolejnice, a to i v případě, že tělesa nebyla v kontaktu s kolejnicí. Na základě těchto zjištění bylo od myšlenky kontaktního umístění upuštěno ve prospěch elektricky izolovaného uchycení topných těles v určité vzdálenosti od povrchu kolejnice.



*Obrázek 26 Kontaktní uchycení topných těles k experimentální kolejnici*

#### **4.4.4.2. Elektricky izolované uchycení**

Elektricky izolovaným uchycení se v první řadě rozumí uchycení topných těles v určité vzdálenosti od kolejnice tak, aby v žádném místě nedocházelo ke kontaktu topného tělesa s kolejnicí. Dále pak musí být uchycení provedeno elektricky nevodivým způsobem.

Při návrhu tohoto způsobu uchycení bylo zvažováno několik variant. Nakonec zvítězilo velmi jednoduché řešení spočívající v odvrtání otvorů v kolejnici pro osazení

závitových tyčí o průměru 4 mm, které fungují jako držáky pro osazení topných těles, což znázorňuje obrázek č. 27.



*Obrázek 27 Osazené závitové tyče elektricky izolovaného uchycení topných těles*

Na tyto závitové tyče byly umístěny svěrky, které přítláčnou silou drží topná tělesa v určité vzdálenosti od kolejnice. Přítláčnou sílu vytvářeli matice M4 v kombinaci s velkoformátovými podložkami z obou stran svěrek. Svěrky bylo možné pomocí matic volně posouvat po délce závitových tyčí a měnit tak vzdálenost topných těles od kolejnice. Tohle řešení také umožňovalo otáčet topná tělesa buď přívodem elektřiny ke středu kolejnice, nebo k jejím koncům bez nutnosti jejich posunu za konce kolejnice. Zde již rozměry porcelánové destičky na koncích topných těles nehrály roli, lze se tedy vyvarovat velkému prostoru bez ohřevu ve prostřed kolejnici.



*Obrázek 28 Detail přitlačných svěrek elektricky izolovaného upevnění topných těles*

Elektricky izolovaným prvkem v této sestavě uchycení byly právě přitlačné svěrky zobrazeny na obrázku č. 28. Při jejich návrhu byl kladen důraz, kromě jejich elektricky – izolačních vlastností, také na odolnost vůči vysokým teplotám, neboť byly v přímém kontaktu s tělem topných těles. Teplota topných těles přesahovala při prvotních neregulovaných testech ohřevu hodnotu 400°C.

Hlavním konstrukčním prvkem svěrek byly keramické destičky o rozměrech 110x50 mm. Uprostřed destiček byl bruskou s diamantovým kotoučem vyřezán otvor pro závitové tyče, jak je znázorněno na obrázku č. 29. Původně se měly tyto otvory odvrtnat, avšak kvůli tvrdosti a křehkosti materiálu toho bylo velmi obtížné docílit.



*Obrázek 29 Keramické destičky s vyřezanou drážkou pro umístění závitové tyče*

Poté bylo na destičky z vnitřní strany naneseno žáruvzdorné lepidlo Hermetic 35 Professional. Pomocí tohoto lepidla byla k destičkám přilepena vrstva lisované minerální vaty o tloušťce 15–25 mm, jak znázorňují obrázky č. 30, 31 a 32.



*Obrázek 30 Keramická destička a vrstva minerální vaty před lepením*



*Obrázek 31 Nanesení žáruvzdorného lepidla Hermetic 35 Professional na vnitřní stranu keramické destičky*



*Obrázek 32 Keramické destičky s nalepenou vrstvou minerální vaty*

Vnější strana destiček byla opatřena kusem ocelového plechu o stejných rozměrech jako mají destičky. Ve středu tohoto plechu byl odvrtán otvor pro závitovou tyč. Poté byl povrch plechu obroušen a odmaštěn technickým benzinem, což je patrné z obrázku č. 33.



*Obrázek 33 Odvrtané, obroušené a odmaštěné plechy připravené na lepení*

K destičkám byl plech přilepen za pomoci dvousložkového lepidla HBM X 60 Schnellklebstoff, jak je vidět na obrázku č. 34. Tento plech pomáhá lépe roznášet přítlačnou sílu do keramického materiálu destiček tak, aby nedocházelo k jejich praskání při utahování svěrek.



Obrázek 34 Sada dvousložkového lepidla HBM X60 Schnellklebstoff

## 4.5. Způsoby odečtu teploty

Během zkoušek ohřevu byla hlavní sledovanou veličinou teplota. V prvních fázích zkoušení byla teplota měřena pouze bezkontaktním laserovým teploměrem Fluke 574. Co se týče měření teploty Ek, byl laserový teploměr v pozdějších zkouškách nahrazen přesnějším a sofistikovaným řešením v podobě sestavy teplotních sond. Laserový teploměr byl i nadále používán pro kontrolní měření teploty topných těles, měření povrchové teploty Ek, nebo měření teploty na těžko přístupných místech.

### 4.5.1. Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574

Základní vlastností bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 je přesné bezdotykové měření teplot v rozsahu  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Je vybaven tříbodovým laserovým zaměřovačem, který přesně vymezuje měřenou oblast na povrchu. Digitální displej zobrazuje naměřenou teplotu, což je vidět na obrázku č. 35 a nabízí funkce jako jsou minimální, maximální, průměrnou a rozdílovou hodnotu teploty. Teploměr také umožňuje nastavení emisivity měřeného povrchu. Bližší technické specifikace jsou dostupné v příloze 10.

Pomocí tohoto teploměru se při veškerých provedených zkouškách měřila povrchová teplota  $E_k$ , topných těles, nebo dalších objektů, které souvisely s průběhem zkoušek. V prvotních fázích zkoušení se tento laserový teploměr používal k měření veškerých teplotních údajů, ať už se jednalo o ostrá data později použitá pro interpretaci výsledků jednotlivých zkoušek, tak i orientační hodnoty teploty, například při zjišťování orientační teploty topných těles. Po nahrazení laserového teploměru sestavou teplotních sond byl tento teploměr dále používán pouze pro odečty orientačních hodnot.

Při používání tohoto laserového teploměru bylo důležité dbát na správné nastavení, kalibraci a kázeň při měření, aby odečtené hodnoty byly co nejpřesnější. V první řadě bylo důležité nastavit správnou emisivitu materiálu z menu nastavení teploměru. V tomto případě byla vždy měřena teplota oceli, jejíž povrch vykazuje známky koroze. Z toho důvodu byla vybrána hodnota emisivity materiálu s názvem steel oxid. Dále byla provedena kalibrace dle přiložené teplotní sondy, díky čemuž byla hodnota emisivity ještě zpřesněna přímo pro tento účel použití. Odečítání teploty probíhalo držením teploměru zhruba 20–50 cm od měřeného povrchu. Následovalo stisknutí tlačítka pro odečet teploty. Během stisknutí tlačítka probíhalo nepřetržité měření teploty. Jakmile bylo tlačítko uvolněno, měření se zastavilo a na displeji teploměru se zobrazila výsledná teplota. Tato hodnota odpovídala aritmetickému průměru všech naměřených hodnot během celého měření. Aby byl výsledek přesný, bylo důležité během měření udržet teploměr zaměřený na jedno konkrétní místo, tak aby průměrná teplota odrážela skutečnou hodnotu v tomto bodě. Záznam naměřených hodnot z tohoto teploměru probíhal ručně do předem připraveného zápisníku.



Obrázek 35 Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 při měření

## 4.5.2. Sestava teplotních sond DS18B20

K použití soustavy teplotních sond pro měření teploty Ek bylo přistoupeno především kvůli měření teploty uvnitř materiálu kolejnice místo měření na jejím povrchu, a také vysoké přesnosti použitých teplotních sond DS18B20. Měření teploty uvnitř materiálu oceli více vypovídá o skutečné teplotě zkoumaného tělesa, neboť tato teplota není příliš ovlivněna náhlými změnami teploty okolí, v tomto případě se především jedná o mírné změny ve způsobu ohřevu topnými tělesy. Tuto skutečnost potvrdily také zkoušky prostupu tepla ocelí při jednostranném zahřívání, kde byla poprvé tato sestava použita a zkoušena.

Jedná se o sestavu digitálních teplotních sond DS18B20. Tyto sondy mají rozsah měření od  $-55\text{ °C}$  do  $+125\text{ °C}$ , přičemž jejich přesnost je  $\pm 0,5\text{ °C}$ . Senzory umožňují nastavit rozlišení od 9 do 12 bitů, přičemž při 12bitovém nastavení dosahují minimálního rozlišení  $0,0625\text{ °C}$ . Jsou vybaveny digitálním výstupem, který využívá sběrnici 1 – Wire, což umožňuje připojit více senzorů do jednoho vedení. Podrobné specifikace těchto teplotních sond jsou dostupné v příloze 11.

Celý systém se skládá ze sedmi sond, které jsou opatřeny kabelem s konektorem typu RJ – 45. Sondy se pomocí těchto konektorů sbíhají do switch zařízení. Na osmém slotu switchu je opět konektor RJ – 45 sloužící jako výstup. Tento výstupní konektor slouží pro propojení sestavy teplotních sond s počítačem.

Propojení PC a sběrnice 1 – Wire zabezpečuje vývojová deska Arduino Nano, která funguje jako řídicí jednotka, která sbírá data z jednotlivých teplotních sond pomocí knihovny DallasTemperature v programovacím prostředí Arduino IDE a odesílá je do počítače skrze USB. Také lze přes toto prostředí měnit nastavení jednotlivých sond co se týče například rychlosti, nebo frekvence odesílání dat o teplotě, nebo jejich citlivost a rozlišení. V počítači běží software, který zpracovává a interpretuje naměřené údaje. Umožňuje například záznam a vizualizaci naměřených hodnot do grafu. Zároveň také při každém spuštěném měření založí soubor s příponou \*.csv, kde do tabulky průběžně ukládá naměřené hodnoty.

### 4.5.2.1. Osazení teplotních sond na Ek

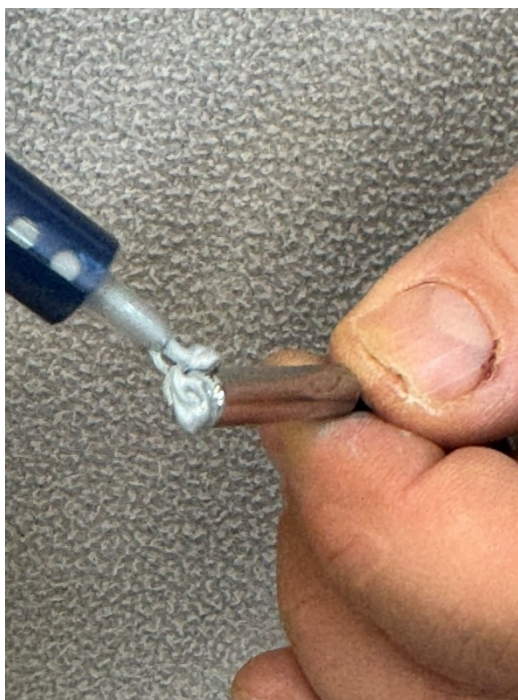
Každá teplotní sonda DS18B20 má vlastní neměnné identifikační číslo, dle kterého lze jednotlivé sondy od sebe bezpečně rozpoznat. Před instalací teplotních sond na

kolejnici bylo u každé z nich toto identifikační číslo zjištěno pomocí záznamového softwaru v počítači. Následovalo opatření každé z použitých sond fyzickým papírovým štítkem, na kterém bylo toto číslo natištěno. Uvedené řešení eliminovalo riziko nesprávného umístění teplotních sond při osazování. Kromě neměnného značení teplotních sond v podobě dlouhého identifikačního čísla, bylo jednotlivým sondám v záznamovém softwaru přidáno další značení ve formátu „temp0 – 6“. Toto značení bylo při měření a následné práci s naměřenými daty více používané, neboť bylo výrazně kratší, přehlednější a zajišťovalo rychlejší identifikaci konkrétního místa na kolejnici, kde byla teplotní sonda osazena. Při vyhodnocování naměřených dat byl zaveden další způsob značení. Tentokrát se již jednalo o konkrétní popis místa, kde byla teplotní sonda osazena tak, aby bylo dosaženo co největší přehlednosti, což znázorňuje tabulka č. 5.

ID	Název	Poloha
28D4E7D509000083	temp0	Hlava kolejnice shora uprostřed
2809CAD509000019	temp1	Pata kolejnice vlevo
282D6CD409000053	temp2	Pata kolejnice uprostřed
28FD82D4090000EF	temp3	Hlava kolejnice shora vpravo
2857A6350A0000B9	temp4	Pata kolejnice vpravo
288F63D509000081	temp5	Hlava kolejnice zboku vlevo
289FF2D5090000A0	temp6	Hlava kolejnice shora vlevo

*Tabulka 5 Přehled značení teplotních sond a jejich umístění na Ek*

Osazení teplotních sond do předem odvrtných otvorů v experimentální kolejnici proběhlo nanesením teplovodní pasty Arctic MX – 4 na sondy, což je vidět na obrázku č 36.



*Obrázek 36 Aplikace teplovodné pasty Arctic MX – 4 na teplotní sondu*

Následovalo vsunutí teplotních sond do připravených otvorů, jak je vidět na obrázku č. 37. Roli dodatečné tepelné izolace a zajištění sond proti vysunutí zajišťovala zátka z papírové buničiny, což znázorňuje obrázek č. 38.



*Obrázek 37 Instalace sondy DS18B20 do připraveného otvoru na patě Ek*



*Obrázek 38 Zajištění teplotní sondy aplikací zátky z papírové buničiny*

V místech, kde byly přívodní kabely k sondám v těsné blízkosti topných těles bylo nutné zajistit tepelnou ochranu těchto kabelů. Toho bylo docíleno obalením kabelů izolační minerální vatou znázorňující obrázek č. 39.



*Obrázek 39 Tepelná ochrana přívodních kabelů teplotních sond z minerální vaty*

## **4.6. Zkoušky ohřevu**

V úvodu jsou obsažena kritéria hodnocení vhodnosti použití jednotlivých způsobů ohřevu pro účely experimentu. Následuje přehledný a stručný výčet všech provedených zkoušek ohřevu. Poté následuje popis jednotlivých typů zkoušek ohřevu, které obsahují nejen jednotlivé způsoby ohřevu Ek, ale také dílčí zkoušky provedené za účelem lepšího porozumění chování topných těles, nebo materiálu kolejnice. Pro každý typ zkoušky byla zvolena jedna reprezentativní, jejíž výsledky a vyhodnocení jsou v této práci prezentovány jako ukázkové příklady práce s naměřenými daty pro daný typ zkoušky.

Během výzkumu bylo provedeno velké množství zkoušek, protože bylo zapotřebí vyzkoušet více způsobů ohřevu a vybrat ten s největším potenciálem. Po výběru nejvhodnějšího řešení se dále pokračovalo v jeho neustálém zdokonalování tak, aby ohřev Ek vykazoval co možná nejlepší vlastnosti a splňoval všechna požadovaná kritéria. Jednotlivé úpravy pramenící z neuspokojivých výsledků předešlých zkoušek ohřevu bylo nutné opět testovat, což vedlo k potřebě provádět další zkoušky. Z toho důvodu nebudou v této kapitole podrobně popsány všechny provedené zkoušky, ale pouze ty, které lze označit jako významné, při kterých došlo k zavedení nějaké nové technologie, nebo při nich došlo k výraznému zlepšení vlastností ohřevu. Kompletní soubor naměřených dat ze všech zkoušek ohřevu, včetně jejich vyhodnocení, je uveden v přílohách 12–35.

### **4.6.1. Požadované vlastnosti a kritéria ohřevu**

Pro účely experimentu bylo důležité zajistit vhodný způsob ohřevu experimentální kolejnice tak, aby při zajištění odpovídajících okrajových podmínek došlo buď k měřitelnému nárůstu mechanického napětí, nebo prodloužení kolejnice. Jednou z požadovaných vlastností ohřevu Ek je maximální změna teploty, která udává o kolik se maximálně může kolejnice ohřát. Dalším kritériem je plynulost a rovnoměrnost ohřevu. V neposlední řadě celková kontrola nad průběhem, nebo rychlostí ohřevu.

#### **4.6.1.1. Maximální změna teploty**

Maximální změna teploty je důležitým omezovacím prvkem experimentální sestavy především při měření mechanického napětí od vlivu teploty za oboustranného vetknutí experimentální kolejnice. Při správné konstrukci měřicí sestavy a zajištění vetknutí,

kteře neumožní jakoukoliv teplotní dilataci experimentální kolejnice je velmi snadné dosáhnout tak vysokých hodnot mechanického napětí, že přesahují konstrukční únosnost některých důležitých částí experimentální sestavy. Konkrétně se jedná o hydromotor Inova AH200-200 M061. Podrobné informace o řadě hydromotorů Inova AH jsou dostupné v příloze 36. Pro účely experimentu byla zvolena verze s maximální silou 200 kN. Z toho plyne, že při ohřevu je tento hydromotor schopen zadržet maximální účinky mechanického napětí od změny teploty odpovídající síle 200 kN. Pro tuto hodnotu síly bylo nutné zjistit maximální hodnotu změny teploty experimentální kolejnice  $\Delta T$ , abychom byli schopní ohřev kolejnice správně na dimenzovat. Toho bylo dosaženo pomocí vztahu:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (4.2)$$

$$\Delta T = \frac{\sigma}{E * \alpha} \quad (4.3)$$

Kde:  $\sigma$  ... Odpovídající mechanické napětí [Pa],  
 $F$  ... Maximální silový účinek [N],  
 $A$  ... Plocha průřezu kolejnice UIC 60 [m],  
 $\Delta T$  ... Maximální rozdíl teplot [°C],  
 $E$  ... Youngův modul pružnosti [Pa],  
 $\alpha$  ... Koefficient teplotní roztažnosti [K].

Po dosazení hodnot:

$$E = 210 \text{ GPa}, \alpha = 1,2 * 10^{-5} \text{ K}^{-1}, A = 76,70 \text{ cm}^2 \text{ a } F = 200 \text{ kN}$$

$$\sigma = \frac{200 * 10^3}{0,00767} = 26,08 \text{ MPa}$$

$$\Delta T = \frac{26,08 * 10^6}{210 * 10^6 * 1,2 * 10^{-5}} \doteq 10,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dle vztahu výše byla maximální hodnota změny teploty experimentální kolejnice omezena na hodnotu 10,3 °C. Ohřev by měl disponovat takovým výkonem, aby byl schopen dosáhnout maximální změny teploty ideálně v řádu hodin. Vysoký výkon ohřevu by způsoboval příliš rychlé dosažení maximální změny teploty, nerovnoměrné prohřátí materiálu  $E_k$ , malou plynulost ohřevu nebo příliš krátkou dobu trvání

experimentu. Naopak nízký výkon by způsobil příliš pomalý ohřev, nebo stagnaci ohřevu před dosažením hodnoty maximální změny teploty.

#### **4.6.1.2. Plynulost, rovnoměrnost a kontrola**

Pokud se hovoří o ohřevu kolejnice pro účely experimentu, myslí se tím vždy ohřev rovnoměrný. Rovnoměrný ohřev znamená, že v ideálním případě bude teplota experimentální kolejnice růst na všech jejích bodech stejně a bude ve stejný čas nabývat stejných hodnot. Výpočet maximální hodnoty teploty platí pouze v případě, že bude teplota  $E_k$  růst ve všech jejích bodech stejně. V rámci zkoušek ohřevu byla snaha se tomuto ideálnímu případu rovnoměrného ohřevu co nejvíce přiblížit.

Plynulostí ohřevu se myslí, pokud možno rostoucí průběh teploty  $E_k$  bez kolísání, stagnace, nebo střídavého rychlého růstu teploty a následného chlazení.

Dodatečně by bylo vhodné se zamyslet nad možnostmi řízení a kontroly nad průběhem ohřevu. V ideálním případě mít kontrolu nad rychlostí ohřevu, mít možnost ohřev pozastavit, nebo ustálit teplotu  $E_k$  na zvolené hodnotě např. před dosažením hodnoty maximální změny teploty.

#### **4.6.2. Přehled zkoušek ohřevu**

Tato část práce poskytuje přehled všech provedených zkoušek ohřevu, které byly v rámci dané problematiky realizovány. Celkově bylo provedeno více než dvacet zkoušek, jejichž cílem bylo nejen ověřit různé možnosti technického uspořádání samotného ohřevu experimentální kolejnice, ale rovněž i otestovat vhodné metody měření teploty, ve vztahu měření teploty na povrchu, nebo uvnitř materiálu oceli.

Tabulky č. 6, 7 a 8 obsahují chronologicky řazený soupis jednotlivých zkoušek včetně základní specifikace uspořádání a stručného závěru. Zahrnuty jsou různé typy ohřevu, a to jak na principu elektromagnetické indukce, tak pomocí infrazářičů či soustavy topných těles s různým prostorovým a výkonovým nastavením.

Tento přehled usnadňuje orientaci v postupu vývoje zvoleného řešení a vytváří základní rámec pro následný podrobnější rozbor vybraných zkoušek. Tyto vybrané zkoušky ohřevu jsou v přehledové tabulce vyznačeny stínováním tmavším odstínem barvy. Byly vybrány vždy jako ukázkové příklady daných způsobů ohřevu, prezentace jejich naměřených hodnot a způsobů vyhodnocení. Veškerá naměřená data a detailní vyhodnocení všech zkoušek ohřevu jsou uvedeny v přílohách 12-35 této práce.

<b>oušky ohřevu pomocí elektro magnetické indukce</b>		
Datum	Specifikace	Závěr
04.09.2024	Teknel DRAGON IHD 1000 + lokální indukční smyčka	Velká nerovnoměrnost ohřevu. Upuštění od indukčního ohřevu.
<b>Zkoušky ohřevu topných těles</b>		
13.12.2024	Zkouška funkčnosti topných těles mimo Ek. Zkouška funkčnosti regulace pomocí digitálního termostatu s teplotní sondou.	Potvrzení funkčnosti topných těles a podezření na porušení jejich izolačního odporu. Potvrzení funkčnosti regulace digitálním termostatem s teplotní sondou.
08.01.2025	Zkouška maximální dosažitelné teploty topných těles.	Maximální dosažitelná teplota topných těles na základě zkoušky stanovena na 424 °C.
03.02.2025	První zkouška funkčnosti regulace ohřevu topných těles pomocí regulátoru napětí.	Úspěšná regulace výkonu topných těles regulátorem napětí. Předpokládaný průběh zkoušky.
03.02.2025	Druhá zkouška funkčnosti regulace ohřevu topných těles pomocí regulátoru napětí.	Úspěšná regulace výkonu topných těles regulátorem napětí. Předpokládaný průběh zkoušky.
<b>Zkoušky prostupu tepla oceli při jednostranném zahřívání</b>		
08.01.2025	Ohřev zkušební ocelového profilu z jedné strany. Záznam teploty z teplotní sondy umístěné uprostřed zkušebního profilu.	Absence hodnot naměřených laserovým teploměrem.
21.01.2025	Ohřev zkušební ocelového profilu z jedné strany. Záznam teploty z teplotní sondy umístěné uprostřed zkušebního profilu.	Potvrzení vhodnosti měření teploty uvnitř materiálu experimentální kolejnice.
<b>Zkoušky ohřevu Ek pomocí soustavy topných těles v kombinaci s infrazářičem</b>		
23.1. – 24.1.2025	Všechny dvojice topných těles. Regulace ohřevu pomocí digitálního termostatu s teplotní sondou a nastavením 79–80 °C. Přidání dvojice infrazářičů z jedné strany Ek.	Prvotní rychlý nástup teploty. Poté stagnující, kolísavý a nerovnoměrný ohřev. Po přidání infrazářičů opětovný růst teploty. Velké rozdíly mezi patou a zbytkem Ek. Velké teplotní rozdíly mezi osvětlenou a odvrácenou stranou Ek.
<b>Zkoušky ohřevu Ek pomocí infrazářičů</b>		
29.01.2025	Zkouška ohřevu Ek pouze pomocí dvojice infrazářičů.	Nerovnoměrnosti v ohřevu na osvětlené a odvrácené straně Ek. Použitelné jako záložní řešení.

Tabulka 6 Přehled provedených zkoušek ohřevu 1. část

Zkoušky ohřevu Ek pomocí soustavy topných těles		
09.12.2024	První zkouška ohřevu Ek pomocí topných těles. Zkouška funkčnosti topných těles. Zkouška kontaktního uchycení topných těles.	Výpadek proudového chrániče způsobený porušením izolačního odporu topných těles.
13.12.2024	Doplnění kontaktního uchycení o izolační prvky ze dřeva.	Výpadek proudového chrániče způsobený porušením izolačního odporu topných těles.
21.01.2025	Aplikace elektricky izolovaného uchycení topných těles. Ohřev bez regulace.	Nebezpečné červení topných těles vlivem přílišného zahřátí způsobené vysokým výkonem.
22.01.2025	Ohřev pomocí pouze jedné dvojice topných těles. Regulace ohřevu pomocí digitálního termostatu s teplotní sondou a nastavením 20–25 °C.	Stagnující, kolísavý a nerovnoměrný ohřev.
22.01.2025	Návrat k použití všech dvojic topných těles. Regulace ohřevu pomocí digitálního termostatu s teplotní sondou a nastavením 25–30 °C.	Stagnující, kolísavý a nerovnoměrný ohřev.
22.01.2025	Všechny dvojice topných těles. Regulace ohřevu pomocí digitálního termostatu s teplotní sondou a nastavením 29–30 °C.	Stagnující, kolísavý a nerovnoměrný ohřev.
22.01.2025	Všechny dvojice topných těles. Regulace ohřevu pomocí digitálního termostatu s teplotní sondou a nastavením 79–80 °C.	Prvotní rychlý nástup teploty. Poté stagnující, kolísavý a nerovnoměrný ohřev.
21.02.2025	Všechny dvojice topných těles. Zkouška funkčnosti regulátorů napětí. Nastavení regulátorů na 62 V.	Potvrzení funkčnosti regulátorů napětí. Plynulý rostoucí ohřev bez kolísání, avšak nerovnoměrný.
24.02.2025	Všechny dvojice topných těles. Aplikace měřicí soustavy teplotních sond DS18B20. Nastavení regulátorů napětí na 29 V.	Potvrzení funkčnosti soustavy teplotních sond. Zavedení nového způsobu hodnocení naměřených dat. Chyba v citlivosti záznamu teploty.
25.02.2025	Všechny dvojice topných těles. Nastavení regulátorů napětí na 29 V.	Plynulý rostoucí ohřev bez kolísání, avšak nerovnoměrný. Nerovnoměrnost především v oblasti středu Ek. Chyba v podobě povytažené teplotní sondy.

Tabulka 7 Přehled provedených zkoušek ohřevu 2. část

<b>Zkoušky ohřevu Ek pomocí soustavy topných těles</b>		
28.02.2025	Všechny dvojice topných těles. Otočení topných těles konektory ke koncům Ek. Nastavení regulátorů napětí na 29 V.	Plynulý rostoucí ohřev bez kolísání, avšak nerovnoměrný. Efektivnější ohřev v oblasti středu Ek. Potřeba dalších úprav polohy topných těles.
04.03.2025	Všechny dvojice topných těles. Vzdálení topných těles od středu Ek na 45 mm. Nastavení regulátorů napětí na 44 V pro boční a 24 V pro horní topná tělesa.	Plynulý rostoucí ohřev bez kolísání. Zlepšení rovnoměrnosti ohřevu v oblasti středu Ek a paty Ek. Potřeba dalších úprav polohy topných těles.
05.03.2025	Všechny dvojice topných těles. Vzdálení topných těles od středu Ek na 85–90 mm. Nastavení regulátorů napětí na 49 V pro boční a 28 V pro horní topná tělesa.	Plynulý rostoucí ohřev bez kolísání. Zlepšení rovnoměrnosti ohřevu v oblasti středu Ek a paty Ek. Potřeba dalších úprav polohy topných těles.
06.03.2025	Všechny dvojice topných těles. Vzdálení topných těles od středu Ek na 110 mm. Nastavení regulátorů napětí na 45 V pro boční a 25 V pro horní topná tělesa.	Plynulý rostoucí ohřev bez kolísání. Docílení nejlepšího výsledku rovnoměrnosti ohřevu ze všech provedených zkoušek. Doporučení tohoto nastavení pro realizaci experimentu.
07.03.2025	Pouze boční topná tělesa. Vzdálení topných těles od středu Ek na 110 mm. Nastavení regulátorů napětí na 42 V.	Plynulý rostoucí ohřev bez kolísání. Dobrá rovnoměrnost ohřevu. Doporučení jako záložní nastavení ohřevu pro realizaci experimentu.

*Tabulka 8 Přehled provedených zkoušek ohřevu 3. část*

#### **4.6.3. Zkouška ohřevu pomocí elektro magnetické indukce**

Zkouška ohřevu kolejnice pomocí elektro – magnetické indukce byla provedena dne 4. 9. 2024 ve VVCD viz příloha 12. Jednalo se o jedinou zkoušku tohoto druhu provedenou v rámci diplomové práce. K ohřevu byla použita technologie indukčního ohřevu, konkrétně zařízení Teknel DRAGON IHD 1000 v kombinaci s indukční smyčkou určenou pro lokální ohřev materiálu.

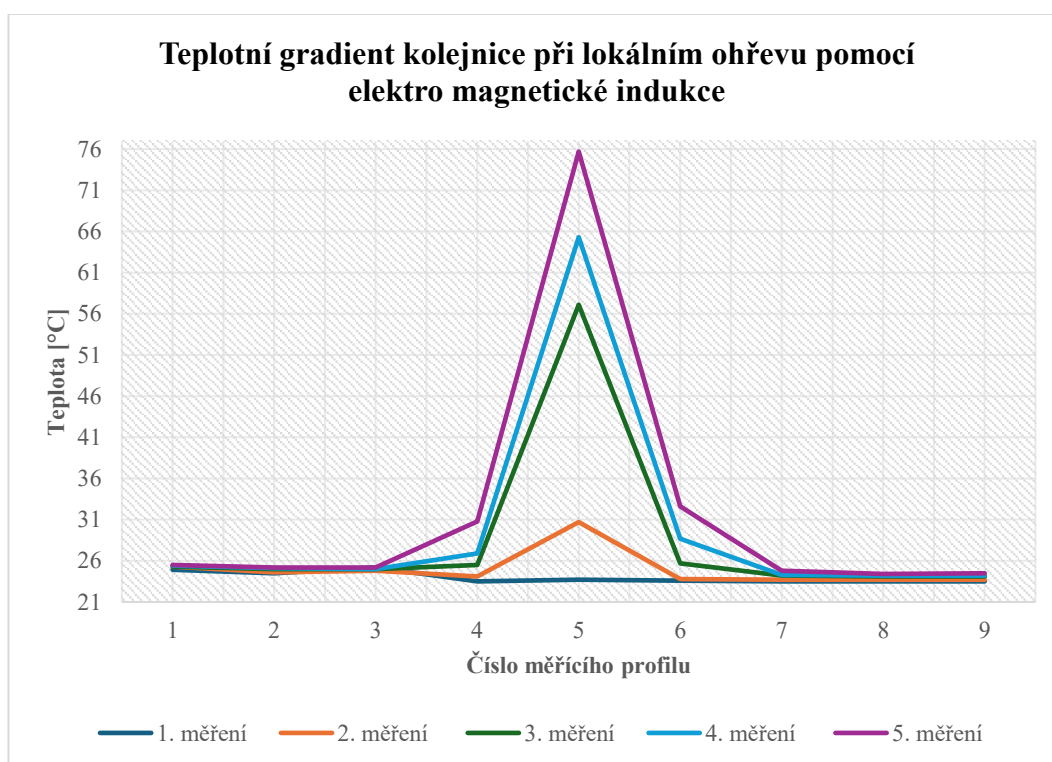
Cílem této zkoušky bylo prověřit, zda je tento způsob ohřevu vhodný pro ohřev celé délky experimentální kolejnice, případně zjistit rozsah teplotního gradientu v závislosti na vzdálenosti od místa lokálního ohřevu. Během zkoušky byla indukční smyčka držena manuálně přibližně 10 až 20 mm nad pojížděnou hranou kolejnice, bez možnosti jejího efektivního pohybu v příčném směru. Tento způsob aplikace ohřevu měl za následek silně nerovnoměrné rozložení teplot po délce kolejnice.

### 4.6.3.1. Prezentace výsledků

Naměřená data z této zkoušky jsou v této části prezentována formou tabulky č. 9 teplotních hodnot zaznamenaných v jednotlivých časových úsecích a na konkrétních měřicích profilech umístěných na experimentální kolejnici. Z uvedených hodnot zobrazených v grafu č. 3 je patrný výrazný teplotní gradient, který potvrzuje silně nerovnoměrný průběh ohřevu způsobený lokální aplikací tepelné energie.

Číslo odečtu a délky sérií ohřevu	+3:00 min	5.	25,5	25,2	25,2	30,8	75,7	32,6	24,8	24,4	24,5
	+3:00 min	4.	25,4	25,1	25	26,9	65,3	28,7	24,3	24,2	24,2
	+3:00 min	3.	25,3	25	25	25,5	57,1	25,7	24,2	24,1	24,1
	+2:00 min	2.	25,3	24,6	24,8	24,1	30,7	23,8	23,7	23,7	23,7
	+1:30 min	1.	24,9	24,5	25,2	23,5	23,7	23,6	23,5	23,5	23,5
Číslo měřicího profilu			1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tabulka 9 Naměřené hodnoty ze zkoušky ohřevu pomocí elektro magnetické indukce



Graf 3 Naměřené hodnoty ze zkoušky ohřevu pomocí elektro magnetické indukce

S ohledem na výraznou nehomogenitu teplotního pole a zjištěnou nevhodnost této technologie pro účely dalšího experimentu nebyla získaná data dále numericky ani graficky zpracovávána.

#### **4.6.3.2. Vyhodnocení**

Získaná data a potvrdily, že tento způsob ohřevu není pro účely experimentu vhodný. Tepelná energie se z místa lokálního ohřevu nestihla rovnoměrně rozprostřít do dalších částí kolejnice, což vedlo k výraznému teplotnímu gradientu. Na základě těchto výsledků bylo od této technologie pro účely experimentálního ohřevu upuštěno.

#### **4.6.4. Zkoušky ohřevu topných těles**

V rámci ověřování základních vlastností topných těles byly mimo experimentální kolejnici provedeny čtyři samostatné zkoušky, které proběhly v období od prosince 2024 do února 2025. První z nich, uskutečněná dne 13.12.2024 viz příloha 14, byla zaměřena na ověření funkčnosti topného tělesa a současně na ověření správné funkce digitálního termostatu s teplotní sondou. Druhá zkouška, provedená dne 08.01.2025 viz příloha 16, měla za cíl zjistit maximální dosažitelnou teplotu topného tělesa v laboratorních podmínkách. Třetí zkouška se uskutečnila dne 03.02.2025 viz příloha 26 a čtvrtá také dne 03.02.2025 viz příloha 27. Obě byly věnovány testování funkčnosti regulátorů napětí a jejich vlivu na možnost řízení výkonu ohřevu.

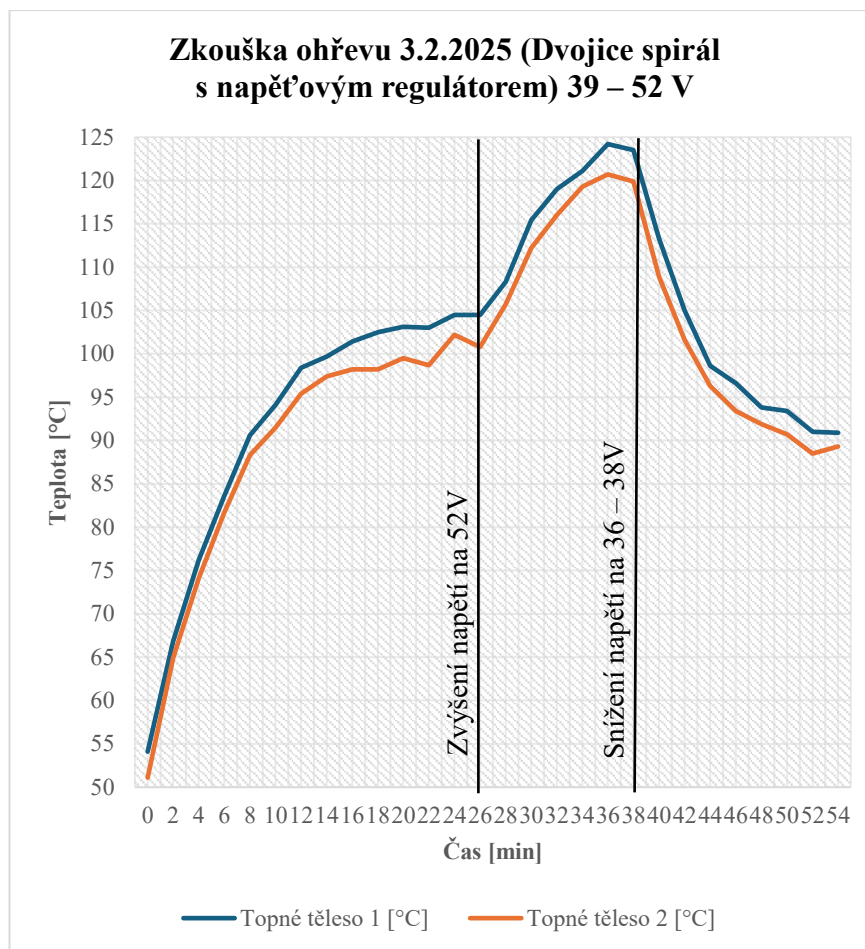
Pro účely podrobnější analýzy je v následující části zvolena druhá ze zkoušek zaměřených na regulaci napětí, tedy ta provedená dne 03.02.2025 viz příloha 27.

##### **4.6.4.1. Presentace výsledků**

V rámci této zkoušky byly výsledky prezentovány ve formě tabulky č.10 obsahující teplotní hodnoty obou topných těles v pravidelných dvouminutových intervalech, a to včetně zaznamenaných změn napájecího napětí v průběhu ohřevu. Na základě těchto hodnot byl dále vytvořen odpovídající graf č. 4, který vizuálně znázorňuje dynamiku nárůstu a poklesu teploty v závislosti na nastavení výkonu regulátoru napětí.

	Topné těleso 1 [°C]	Topné těleso 2 [°C]	Čas měření [mm]
	54,1	51,1	0
	66,8	64,9	2
	76,2	74,1	4
	83,6	81,7	6
	90,6	88,3	8
	94,1	91,5	10
	98,4	95,4	12
	99,7	97,4	14
	101,4	98,2	16
	102,5	98,2	18
	103,1	99,5	20
	103	98,7	22
	104,5	102,2	24
zvýšení výkonu na 43–44 %; 52 V	104,5	100,8	26
	108,3	105,7	28
	115,4	112,2	30
	119	116	32
	121,1	119,3	34
	124,2	120,7	36
snížení výkonu na 39 %; 36–38 V	123,5	119,9	38
	113,3	108,9	40
	105	101,6	42
	98,6	96,3	44
	96,6	93,4	46
	93,8	91,9	48
	93,4	90,7	50
	91	88,5	52
	90,9	89,3	54

*Tabulka 10 Naměřené hodnoty zkoušky ohřevu topných těles při regulaci jejich výkonu regulátorem napětí*



*Graf 4 Naměřené hodnoty zkoušky ohřevu topných těles při regulaci jejich výkonu regulátorem napětí*

Data byla získána přímým měřením bezkontaktním laserovým teploměrem viz kapitola 4.5.1 a zaznamenána do papírového zápisníku. Získané hodnoty byly následně přepsány bez jakýchkoliv úprav a zpracovány pouze v základní formě. S ohledem na přehlednost výsledků, jednoznačnost průběhu a absenci potřeby dalších výpočtových operací nebylo nezbytné provádět hlubší numerické vyhodnocení.

#### 4.6.4.2. Vyhodnocení

Zkouška potvrdila, že použití regulátorů napětí představuje účinný způsob řízení teploty topných těles. V průběhu ohřevu se podařilo opakovaně prokázat, že nastavení napětí má přímý a dobře předvídatelný vliv na výslednou teplotu, a to včetně možnosti jejího plynulého zvyšování nebo snižování v čase. Výsledky z této zkoušky ukázaly, že pomocí regulace výkonu lze dosáhnout rovnoměrného a stabilního ohřevu, což je zásadní předpoklad pro dosažení požadovaných vlastností ohřevu experimentální kolejnice.

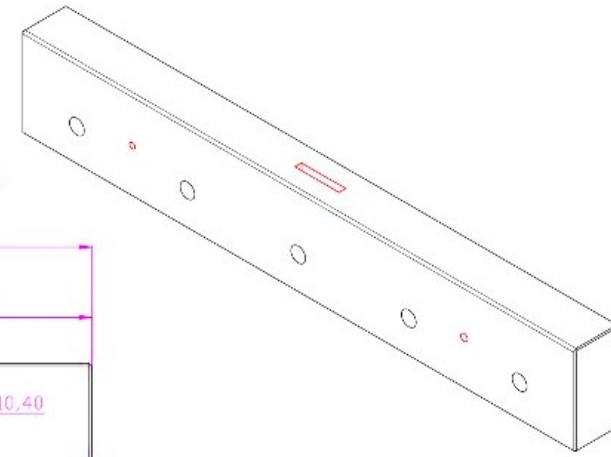
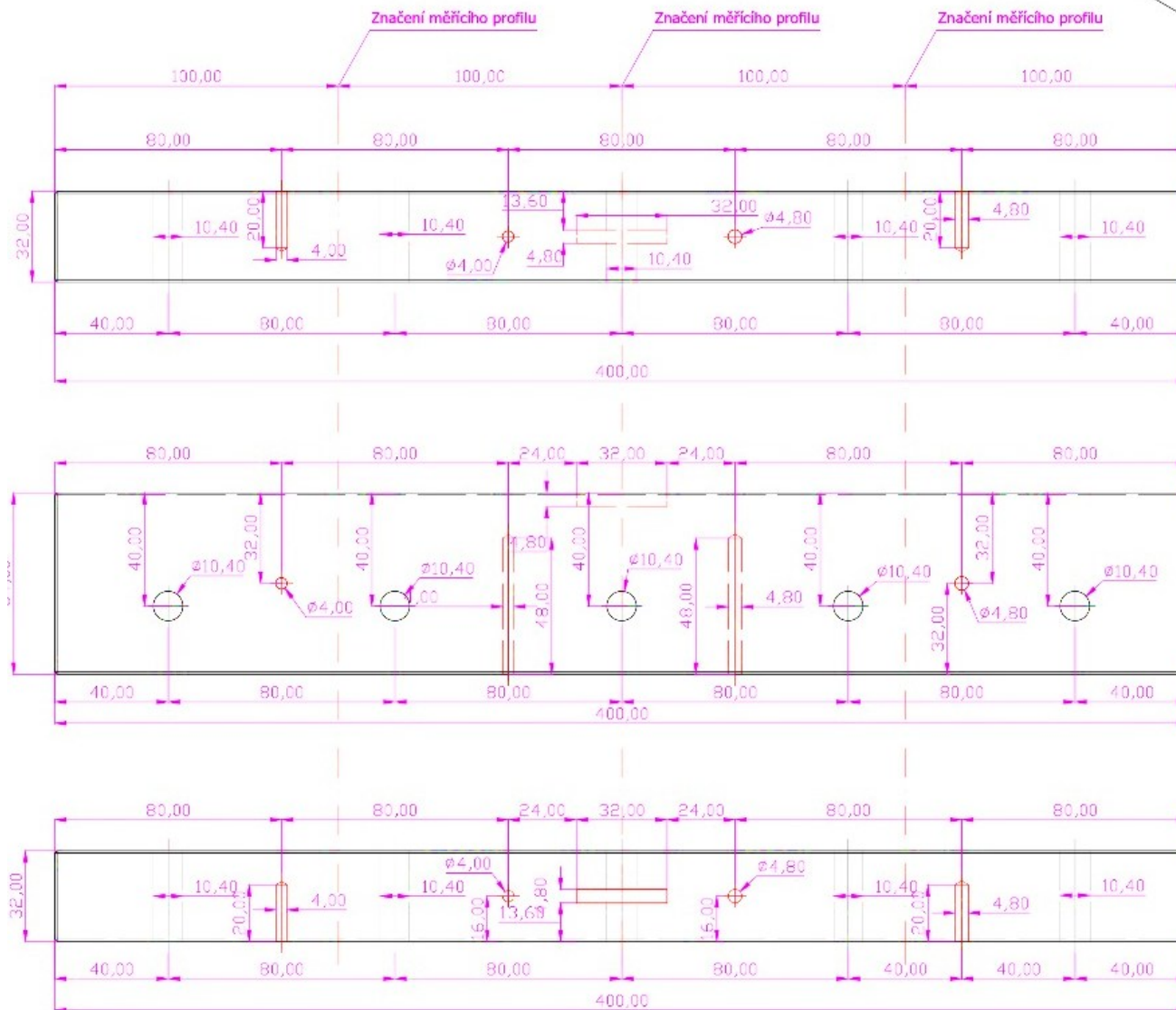
Na základě těchto poznatků bylo rozhodnuto o dalším využívání regulátorů napětí i v následujících zkouškách, včetně těch, které se již zaměřují přímo na ohřev kolejnice.

#### **4.6.5. Zkoušky prostupu tepla ocelí při jednostranném zahřívání**

V rámci posouzení způsobu měření teploty kolejnice byly realizovány dvě samostatné zkoušky prostupu tepla ocelí při jednostranném zahřívání. První z nich proběhla dne 8. 1. 2025 viz příloha 17 a druhá následně 21. 1. 2025 viz příloha 19. Obě zkoušky byly zaměřeny na experimentální ověření rozdílu mezi teplotou na povrchu a teplotou uvnitř ocelového zkušebního profilu. Detaily geometrie a umístění měřících profilů ocelového zkušebního profilu jsou patrné z obrázku č. 40. Důvodem pro realizaci těchto měření byla potřeba určit nejvhodnější způsob měření teploty v materiálu experimentální kolejnice a tím zajistit co nejpřesnější výstupy při dalších zkouškách ohřevu.

Při prvním měření byla sledována pouze vnitřní teplota pomocí teplotní sondy umístěné v ose profilu. Výsledky však neumožňovaly přímé porovnání s povrchovou teplotou, a proto byla dne 21. 1. 2025 provedena druhá zkouška viz příloha 19, při níž byla měřena jak teplota uvnitř, tak i na povrchu zkušebního profilu. Tato zkouška potvrdila, že při jednostranném ohřevu dochází k výraznějšímu a rychlejšímu ohřevu povrchových vrstev materiálu, zatímco vnitřní teplota narůstá pozvolněji, a je tak stabilnějším a přesnějším indikátorem skutečné teploty kolejnice. Povrchové měření se projevilo jako více náchylné na výkyvy a dynamické změny, a proto bylo pro následující experimentální činnosti upřednostněno měření teploty uvnitř kolejnice pomocí zapuštěných teplotních sond.

V rámci následujících částí bude jako reprezentativní zvolena druhá zkouška provedená dne 21. 1. 2025 viz příloha 19, neboť v jejím průběhu byly zaznamenány teplotní hodnoty jak na povrchu, tak uvnitř ocelového profilu.



Obrázek 40 Schéma ocelového zkušebního profilu včetně umístění měřících profilů

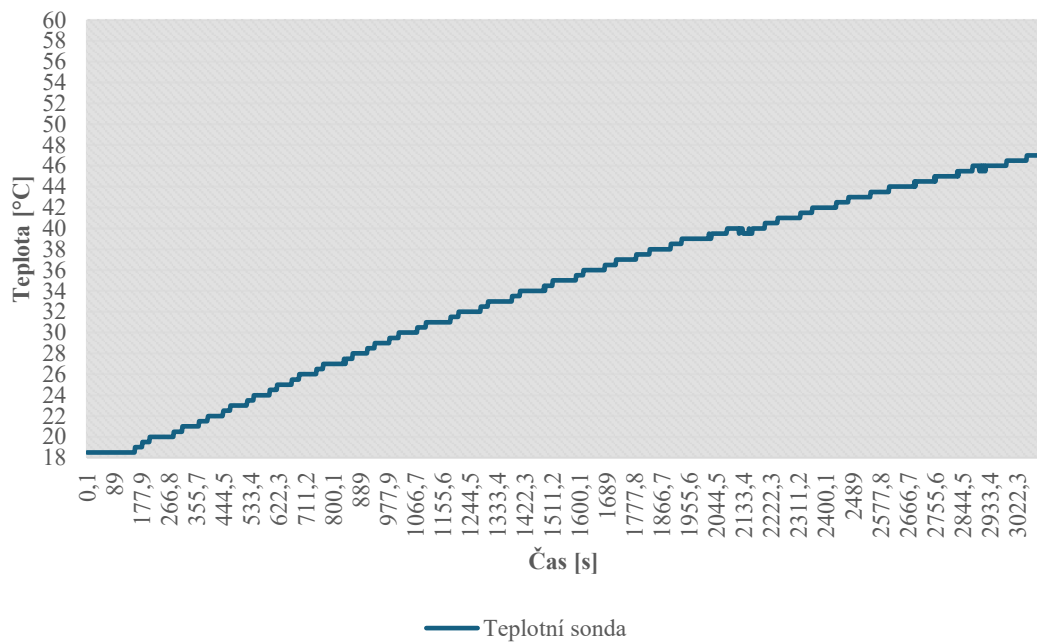
#### 4.6.5.1. Prezentace výsledků

Výsledky této zkoušky jsou prezentovány ve formě tabulky č. 11 zachycující časový průběh teploty v měřicím ocelovém profilu. Měření probíhalo současně dvěma způsoby. Teplota uvnitř profilu byla kontinuálně snímána teplotní sondou DS18B20, připojenou k počítači. Prostřednictvím softwarového rozhraní byl realizován průběžný záznam teplotních hodnot v čase, jak zobrazuje graf č. 5. Povrchová teplota byla v pravidelných časových intervalech měřena ve třech měřicích profilech pomocí bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 a zaznamenávána ručně.

Teplotní sonda [°C]	Profil 1 [°C]	Profil 2 [°C]	Profil 3 [°C]	Čas [s]
18,5	17	16,9	16,9	0
18,5	18,8	18,8	19,1	75
19,5	20	19,9	20,3	180
20	21,4	21,1	21,6	255
21	22,7	22,4	23,1	325
22	24,8	24,1	25	400
23	25,7	25,1	26	475
24	26,5	25,7	26,9	550
25	27,5	26,7	27,8	625
26	28,7	28	29	720
27	30	29,3	30,5	792
28	31,3	30,5	31,7	870
29	33	32	33,3	960
30	34,3	33,2	34,5	1065
31	35,4	34,2	35,6	1162
32	36,4	35,4	36,6	1265
33	37,7	36,5	37,6	1375
34	38,5	37,5	38,5	1475
35	39,3	38,3	39,3	1577
36,5	40,3	39,2	40,2	1690
37,5	41,3	40	41	1790
39	42	41	41,9	1937
40	43,5	42,4	43,1	2110
40,5	44,7	43,9	44,5	2215
41,5	46,1	45,1	45,9	2332
42,5	47,3	46,4	47,3	2465
44	47,7	47,2	48,1	2615
44,5	48,1	48,2	49,2	2735
45,5	50,1	49,1	50,1	2910
47	51,5	51	51,6	3095

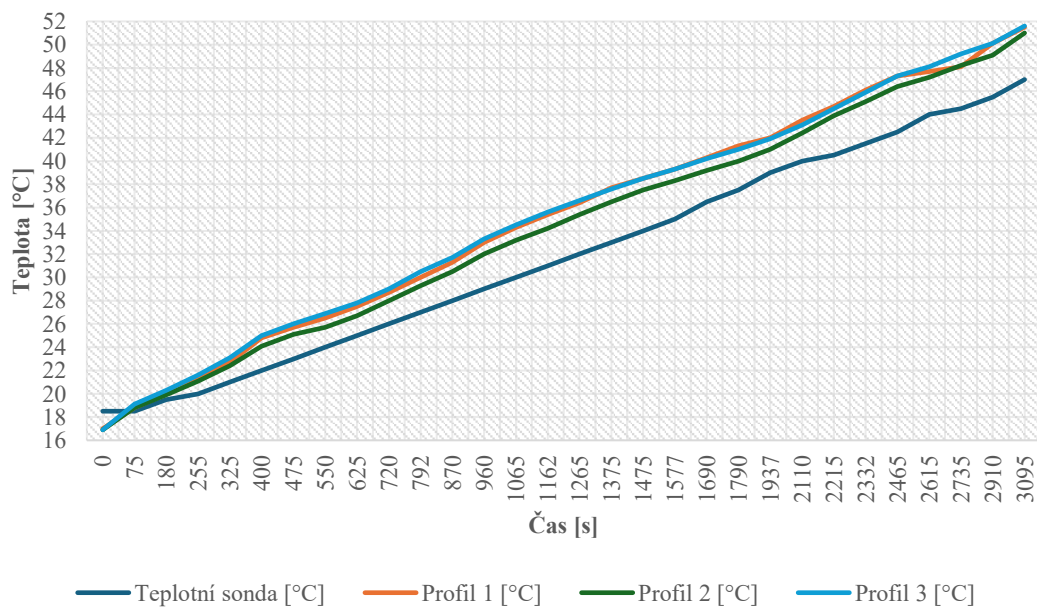
*Tabulka 11 Naměřené hodnoty zkoušky prostupu tepla oceli při jednostranném zahřívání*

**Zkouška ohřevu ocelového zkušebního profilu pro zjištění vhodného způsobu měření teploty 2 (kompletní záznam z teplotní sondy)**



Graf 5 Kontinuální záznam vývoje teploty z teplotní sondy

**Zkouška ohřevu ocelového zkušebního profilu pro zjištění vhodného způsobu měření teploty 2 (Porovnání teplotní sondy s povrchové měření na třech měřících profilech)**



Graf 6 Záznam teploty ze všech míst zkušebního tělesa

Tabulka č. 11 poskytuje přehled o rozdílném vývoji teploty na povrchu a uvnitř profilu v čase. Na základě těchto dat byla sestavena grafická prezentace umožňující srovnání dynamiky ohřevu ve všech místech měření, což je viditelné na grafu č. 6. Vzhledem ke stabilnímu nárůstu vnitřní teploty a proměnlivějšímu chování teploty povrchové slouží výsledky této zkoušky jako podklad pro rozhodnutí o preferenci měření uvnitř materiálu v dalších zkouškách. Naměřené hodnoty poskytly základ pro výpočet aritmetického průměru a odchylek jednotlivých hodnot od tohoto průměru, jejichž zpracování je uvedeno v následující části.

#### 4.6.5.2. Výpočty

Pro účely porovnání a vyhodnocení bylo zapotřebí zvolit vhodný způsob vyjádření rozdílů mezi hodnotami měřenými na povrchu a uvnitř materiálu ocelového zkušebního profilu. V rámci této zkoušky byla použita metoda výpočtu aritmetického průměru teplot naměřených na povrchu zkušebního profilu a následného stanovení odchylek jednotlivých naměřených hodnot z teplotní sondy od tohoto průměru. Jednotlivé výpočty vychází z následujících vztahů:

$$T_{prům,i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (4.4)$$

Kde:  $T_{prům,i}$  ... Aritmetický průměr teplot na povrchu v čase  $i$  [°C],  
 $T_i$  ... Naměřená hodnota teploty na povrchu v čase  $i$  [°C],  
 $n$  ... Počet měření [-].

$$\Delta T_i = T_i - T_{prům,i} \quad (4.5)$$

Kde:  $\Delta T_i$  ... Odchylka od průměrné teploty na povrchu v čase  $i$  [°C],  
 $T_i$  ... Naměřená hodnota teploty uvnitř profilu v čase  $i$  [°C],  
 $T_{prům,i}$  ... Aritmetický průměr teploty na povrchu v čase  $i$  [°C].

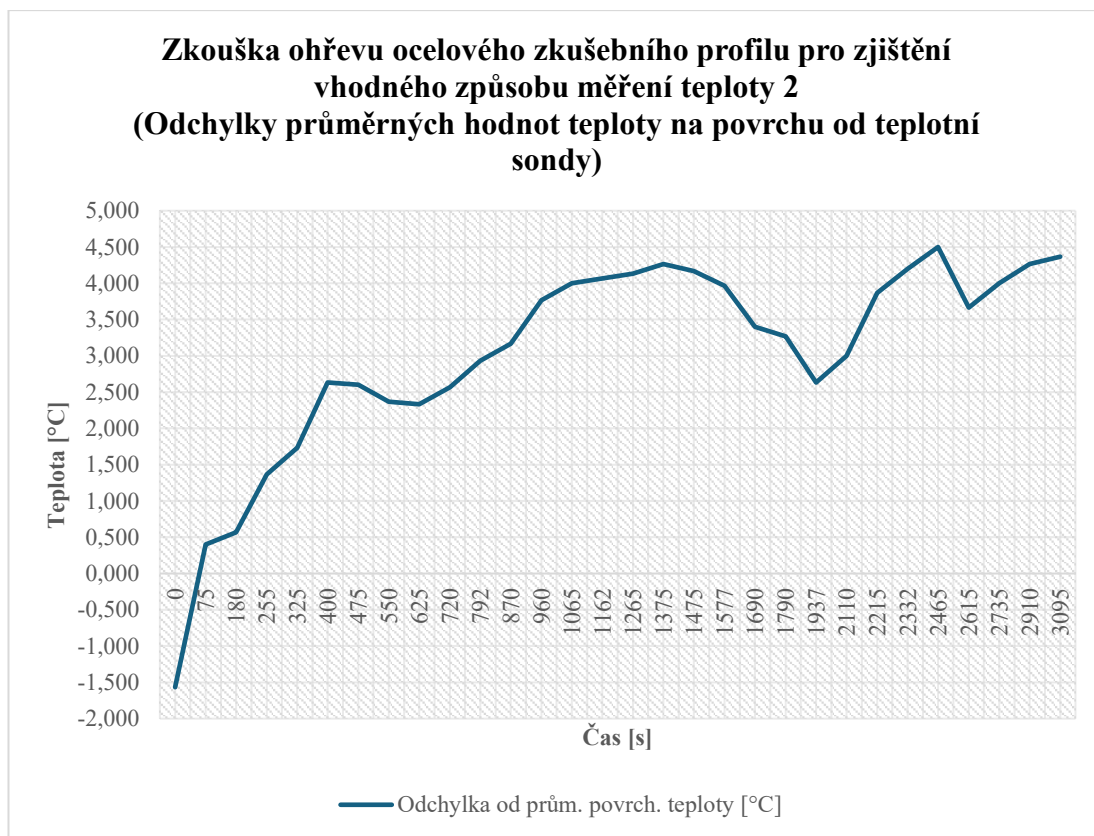
Stejný postup byl použit i při zpracování dat v dalších částech práce, zejména při posuzování rovnoměrnosti ohřevu kolejnice během zkoušek s topnými tělesy.

### 4.6.5.3. Vyhodnocení

Na základě výpočtů uvedených výše jsou v tabulce č. 12 uvedeny hodnoty odchylek mezi teplotou uvnitř materiálu a průměrnou povrchovou teplotou v jednotlivých časech. Na tabulku navazuje graf č.7 znázorňující vývoj těchto odchylek v průběhu zkoušky.

Teplotní sonda [°C]	Průměrná povrchová teplota [°C]	Odchylka od prům. povrch. teploty [°C]	Čas [s]
18,5	16,933	- 1,567	0
18,5	18,900	0,400	75
19,5	20,067	0,567	180
20	21,367	1,367	255
21	22,733	1,733	325
22	24,633	2,633	400
23	25,600	2,600	475
24	26,367	2,367	550
25	27,333	2,333	625
26	28,567	2,567	720
27	29,933	2,933	792
28	31,167	3,167	870
29	32,767	3,767	960
30	34,000	4,000	1065
31	35,067	4,067	1162
32	36,133	4,133	1265
33	37,267	4,267	1375
34	38,167	4,167	1475
35	38,967	3,967	1577
36,5	39,900	3,400	1690
37,5	40,767	3,267	1790
39	41,633	2,633	1937
40	43,000	3,000	2110
40,5	44,367	3,867	2215
41,5	45,700	4,200	2332
42,5	47,000	4,500	2465
44	47,667	3,667	2615
44,5	48,500	4,000	2735
45,5	49,767	4,267	2910
47	51,367	4,367	3095

*Tabulka 12 Vyhodnocené odchylky teploty uvnitř materiálu od průměrné teploty na povrchu zkušebního profilu*



*Graf 7 Vývoj odchylek teploty uvnitř materiálu od průměrné povrchové teploty zkušebního profilu*

Z průběhu odchylek je patrné, že vnitřní teplota materiálu je stabilnější než teplota na povrchu, jak zobrazuje graf č. 7. Rozdíl mezi těmito hodnotami se v čase pozvolna zvyšuje, což odpovídá očekávání.

Vzhledem k těmto poznatkům lze pro další zkoušky doporučit preferenci měření teploty uvnitř materiálu Ek jako přesnějšího způsobu interpretace jejího tepelného chování.

#### **4.6.6. Zkouška ohřevu Ek pomocí soustavy topných těles v kombinaci s infrazářičem**

V rámci rozsáhlého souboru zkoušek ohřevu byla uskutečněna také jediná zkouška, při níž byla soustava topných těles doplněna o infrazářiče. Tato zkouška probíhala ve dnech 23. až 24. ledna 2025 viz příloha 24 a její specifikace spočívala ve snaze ověřit, zda kombinace těchto dvou způsobů ohřevu může vést k rovnoměrnějšímu a plynulejšímu průběhu nárůstu teploty experimentální kolejnice oproti standartním řešením.

Současně šlo o první zkoušku, při které byl aplikován dlouhodobý ohřev přesahující dobu 24 hodin, čímž se odlišovala i svým rozsahem. Cílem bylo zjistit, zda je s využitím regulace pomocí digitálního termostatu s teplotní sondou nastaveného na rozpětí 79–80 °C a následného přidání dvojice infrazářičů možné dosáhnout požadovaného zvýšení teploty kolejnice alespoň o 10 °C.

Vzhledem k tomu, že se jednalo o jedinou zkoušku tohoto typu, bude tato zkouška použita jako reprezentativní pro prezentaci naměřených hodnot a následné vyhodnocení výsledků.

#### **4.6.6.1. Prezentace výsledků**

Naměřené hodnoty této zkoušky ohřevu jsou zpracovány ve třech samostatných tabulkách č. 13, 14 a 15. Každá z nich obsahuje zaznamenané teploty ze všech měřicích profilů Ek, a to vždy pro jednu konkrétní část kolejnice, tedy hlavu, stojinu nebo patu. Stejný způsob prezentace dat je použit i u dalších zkoušek ohřevu v této práci. Unikátní pro tuto konkrétní zkoušku je však sledování teploty na obou stranách Ek po přidání infrazářičů a jejich pojmenování jako osvícená a odvrácená strana. K tomuto bylo nutné přistoupit z důvodu záznamu teplotní asymetrie vlivem jednostranného zahřívání pomocí infrazářičů umístěných pouze z jedné strany Ek. Trojice tabulek č. 13–15 umožňuje přehledné sledování teplotního vývoje v jednotlivých částech kolejnice a slouží jako podklad pro následné vyhodnocení.

	Hlava měřicí profil 2	Hlava měřicí profil 4	Hlava měřicí profil 5	Hlava měřicí profil 6	Hlava měřicí profil 8	Čas měření [mm]	Datum a čas [dd.mm.rrrr hh:mm]
	17,3	17,3		17,3	17,2	0	23.01.2025 9:40
	27,5	25,8		26	27,7	130	23.01.2025 11:50
	28,4	27		27,3	28,9	1150	24.01.2025 7:00
	Přidán infrazáříč					1165	24.01.2025 7:15
strana k záříči	29,9	30,1	30,6	31,2	33,3	1180	24.01.2025 7:30
strana odvrácená od záříče	29,4	30	28,2	31,2	31,1	1185	24.01.2025 7:35
strana k záříči	32,4	34,6	33,7	36,8	34,9	1240	24.01.2025 8:30
strana odvrácená od záříče	31,6	33,5	31,7	35,1	33,7	1245	24.01.2025 8:35
strana k záříči	35,2	38,3	36,8	39,5	37	1420	24.01.2025 11:30
strana odvrácená od záříče	34,7	37,4	35,6	37,8	35,7	1425	24.01.2025 11:35

*Tabulka 13 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí topných těles v kombinaci s infrazáříči v jednotlivých měřicích profilech na hlavě kolejnice*

	Stojin a měřicí profil 2	Stojin a měřicí profil 4	Stojin a měřicí profil 5	Stojin a měřicí profil 6	Stojin a měřicí profil 8	Čas měření [mm]	Datum a čas [dd.mm.rrrr hh:mm]
	17,4	17,3		17,3	17,2	0	23.01.2025 9:40
	26,5	25,8		25,8	27,5	130	23.01.2025 11:50
	27,7	26,5		27	28	1150	24.01.2025 7:00
	Přidán infrazáříč					1165	24.01.2025 7:15
strana k záříči	29,4	29,4	27,4	32,2	30,8	1180	24.01.2025 7:30
strana odvrácená od záříče	29,2	29,3	27,8	29,8	29,9	1185	24.01.2025 7:35
strana k záříči	31,7	33,6	32,2	35,3	33,3	1240	24.01.2025 8:30
strana odvrácená od záříče	31,5	33,3	31,4	34	32,2	1245	24.01.2025 8:35
strana k záříči	34,4	38,2	35,3	38,2	35,8	1420	24.01.2025 11:30
strana odvrácená od záříče	34,6	36,4	35,2	36,6	34,3	1425	24.01.2025 11:35

*Tabulka 14 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí topných těles v kombinaci s infrazáříči v jednotlivých měřicích profilech na stojně kolejnice*

	Pata měřicí profil 2	Pata měřicí profil 4	Pata měřicí profil 5	Pata měřicí profil 6	Pata měřicí profil 8	Čas měření [mm]	Datum a čas [dd.mm.rrrr hh:mm]
	17,4	17,3		17,3	17,3	0	23.01.2025 9:40
	25,6	24,7		24,6	26,5	130	23.01.2025 11:50
	26,8	25,6		25,9	26,4	1150	24.01.2025 7:00
	Přidán infrazáříč					1165	24.01.2025 7:15
strana k záříči	28,2	28	26,6	29,3	29,9	1180	24.01.2025 7:30
strana odvrácená od záříče	27,7	27,7	26,5	28,3	28,6	1185	24.01.2025 7:35
strana k záříči	30,5	32,3	31	33,3	32,2	1240	24.01.2025 8:30
strana odvrácená od záříče	29	31,2	29,8	31,5	31,2	1245	24.01.2025 8:35
strana k záříči	32,5	35,8	34,3	36,1	33,6	1420	24.01.2025 11:30
strana odvrácená od záříče	32	34,3	33,3	34,8	32,7	1425	24.01.2025 11:35

*Tabulka 15 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí topných těles v kombinaci s infrazáříči v jednotlivých měřicích profilech na patě kolejnice*

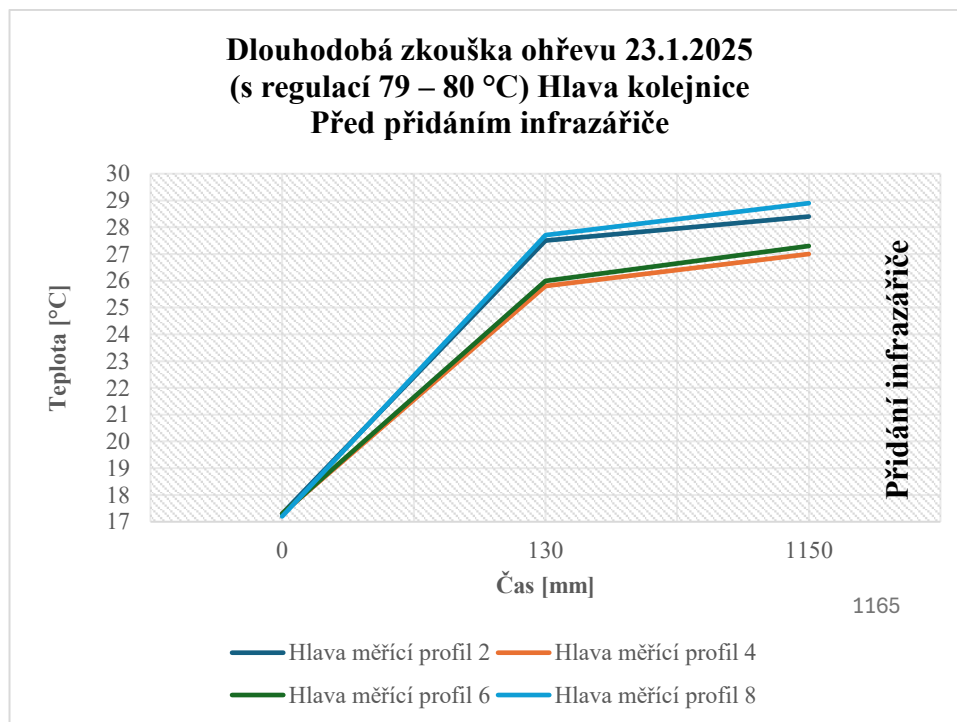
Na základě struktury grafické prezentace výsledků této zkoušky ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazáříči lze grafy rozdělit do dvou základních skupin, přičemž každá z nich poskytuje odlišný pohled na průběh ohřevu experimentální kolejnice, ale obě čerpají ze stejného souboru dat tří tabulek prezentovaných výše.

První skupinu tvoří grafy č. 8-16, které zachycují průběh teploty v čase v rámci jednotlivých měřicích profilů. Každý z těchto grafů odpovídá jednomu konkrétnímu měřicímu profilu a zahrnuje hodnoty zaznamenané na hlavě, stojině a patě kolejnice. Tento typ zobrazení umožňuje přímé porovnání průběhu ohřevu na různých místech kolejnice v jednotlivých měřicích profilech

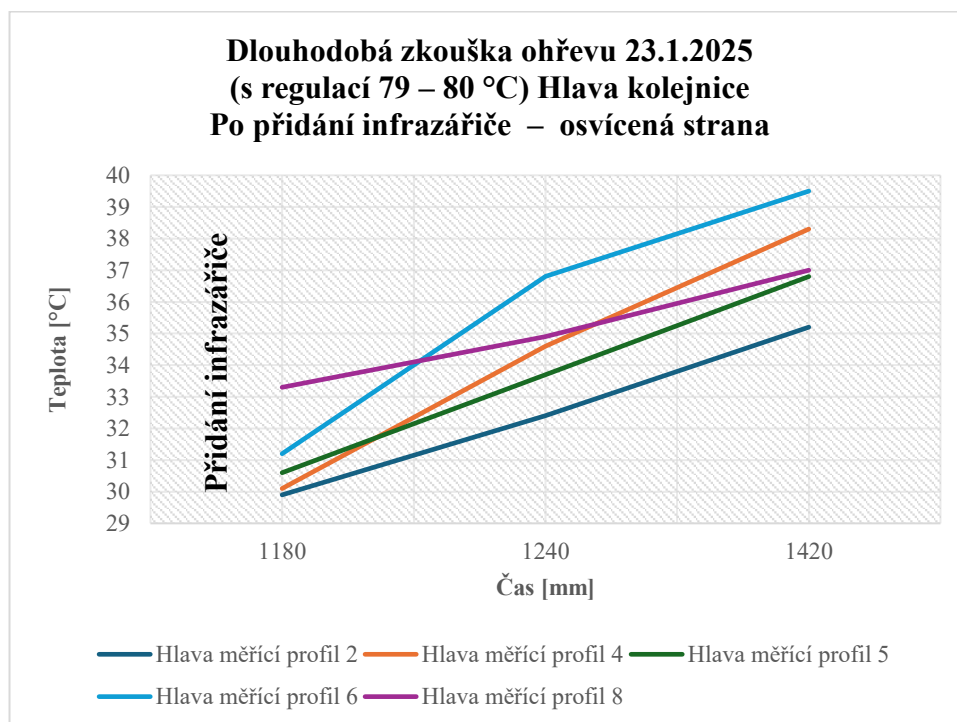
Druhá skupina grafů č. 17–30, pak prezentuje výsledky naopak z horizontálního pohledu. Každý z těchto grafů se zaměřuje na konkrétní místo kolejnice. Například na hlavu, kde zobrazuje v jejím rámci průběh teploty v čase pro různé měřicí profily. Díky tomu je možné sledovat, jak se ohřev lišil v podélném směru a jak rovnoměrně byla kolejnice zahřívána napříč její délkou.

V rámci této konkrétní zkoušky ohřevu byly tyto dvě skupiny grafů ještě rozděleny na záznam hodnot teploty před přidáním infrazáříčů a po přidání infrazáříčů. Zároveň grafy interpretující naměřené hodnoty po přidání infrazáříčů byly ještě rozděleny na

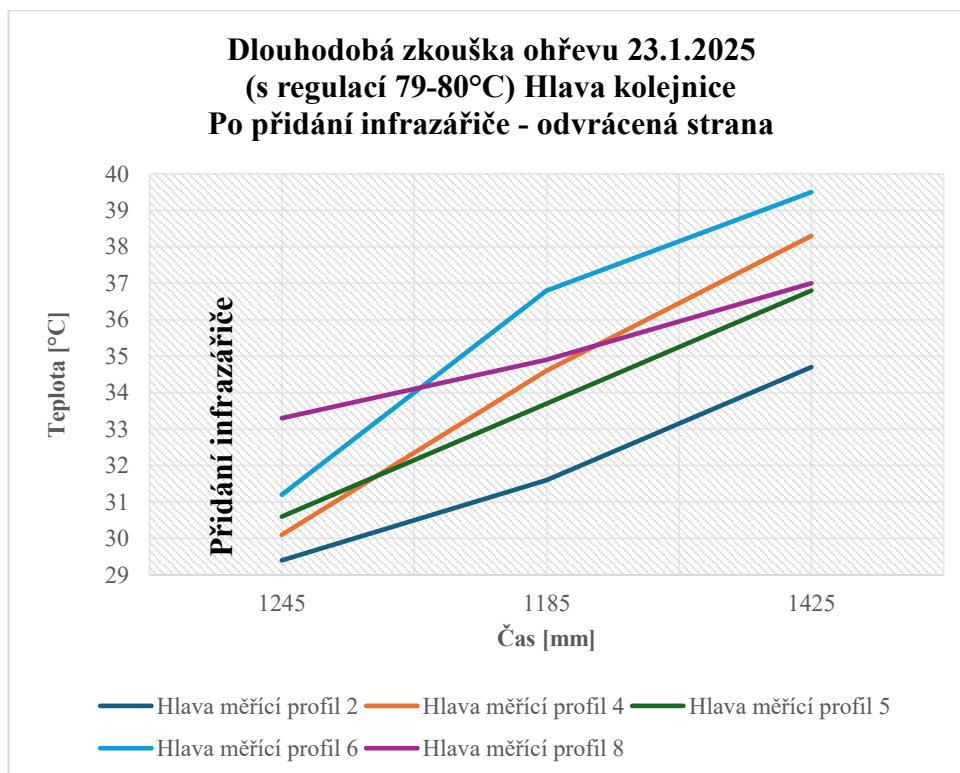
hodnoty z osvětlené a odvrácené strany Ek. Tohle rozdělení bylo použito pouze pro tuto konkrétní zkoušku ohřevu.



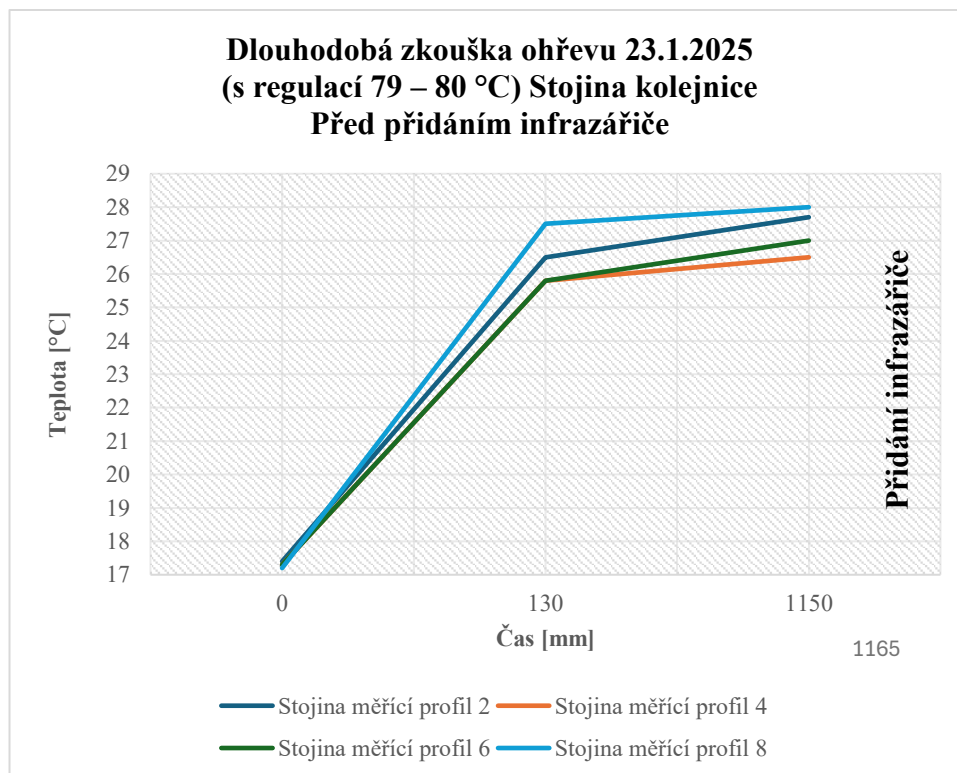
Graf 8 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – hlava kolejnice – před přidáním infrazářičů



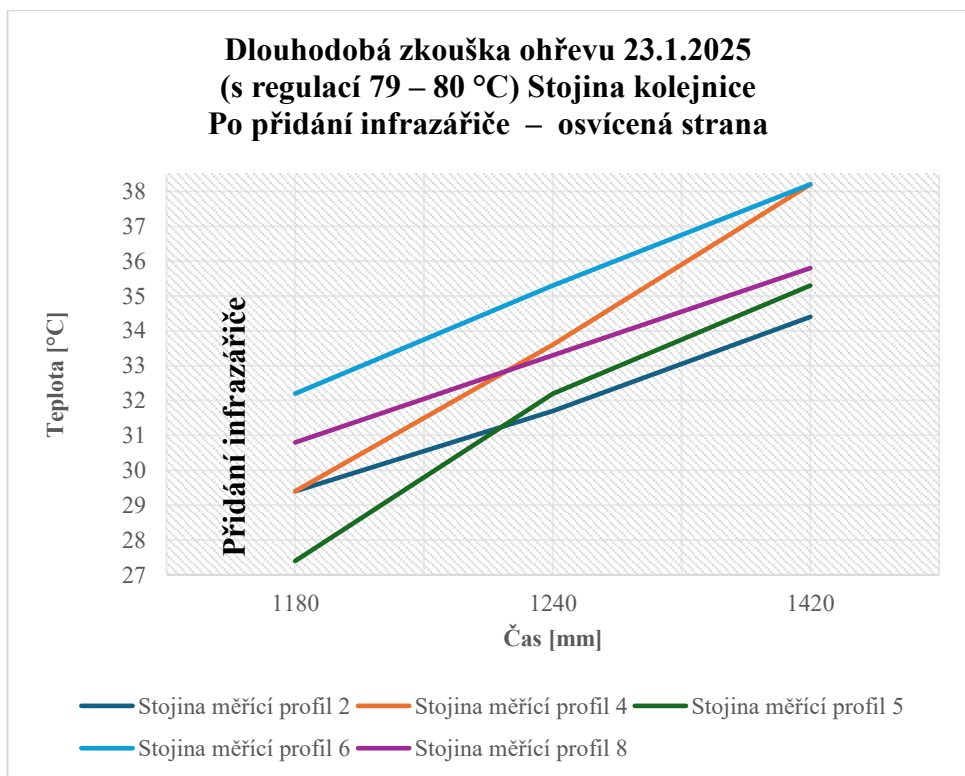
Graf 9 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – hlava kolejnice – po přidání infrazářičů – osvětlená strana



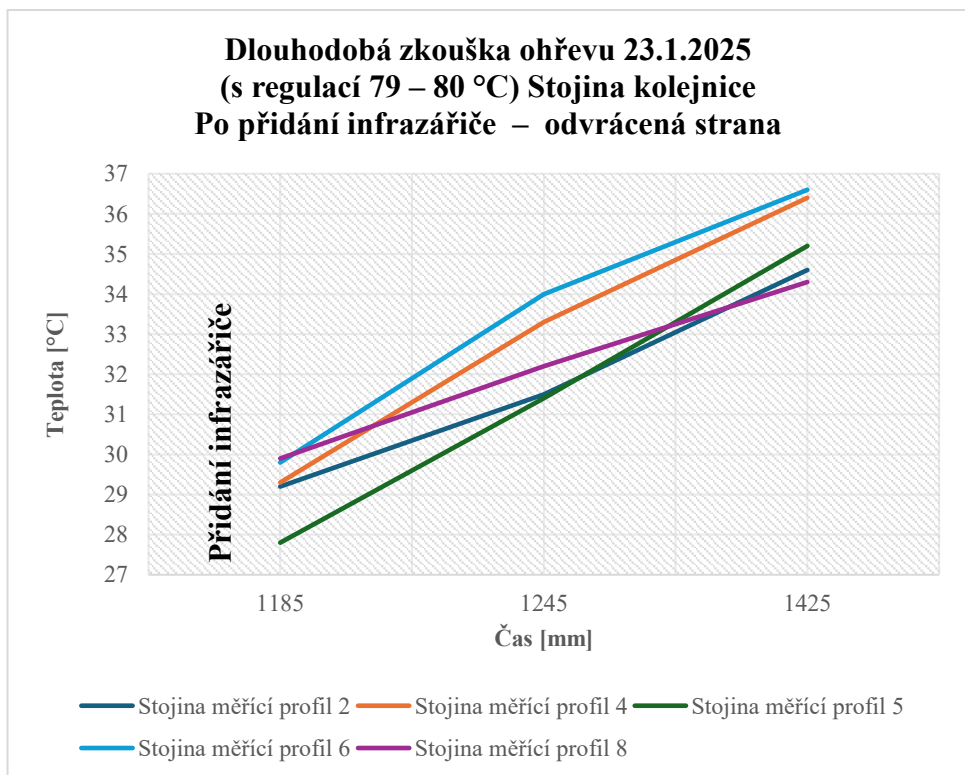
Graf 10 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – hlava kolejnice – po přidání infrazářičů – odvrácená strana



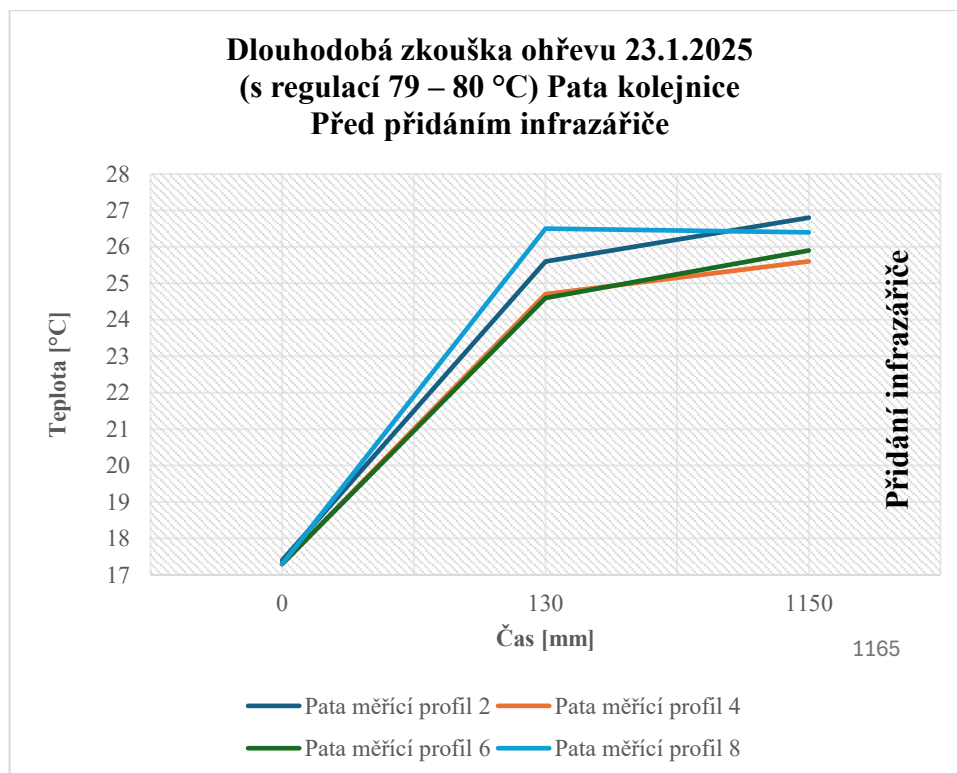
Graf 11 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Stojina kolejnice – před přidáním infrazářičů



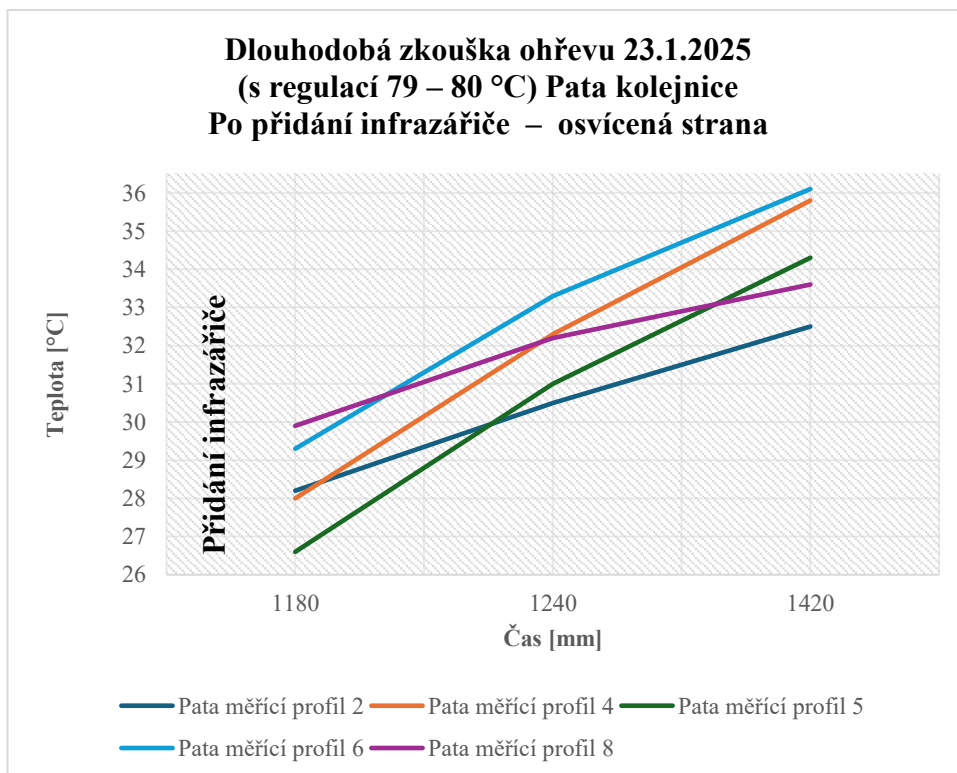
*Graf 12 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Stojina kolejnice – po přidáním infrazářičů – osvětlená strana*



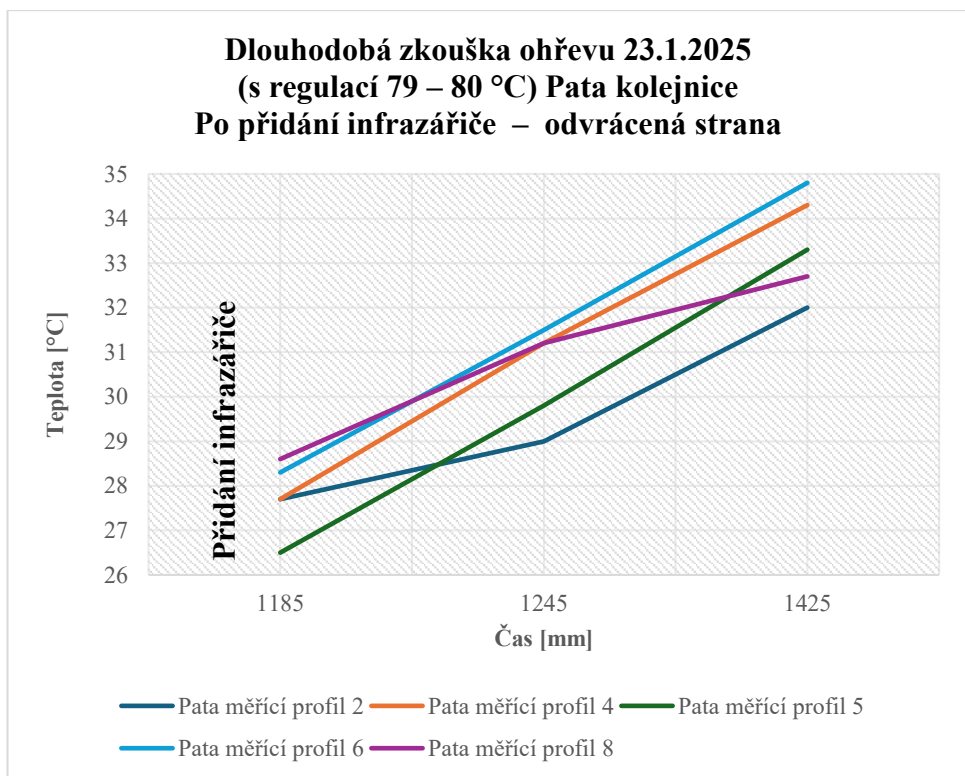
*Graf 13 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Stojina infrazářiči – po přidáním infrazářičů – odvrácená strana*



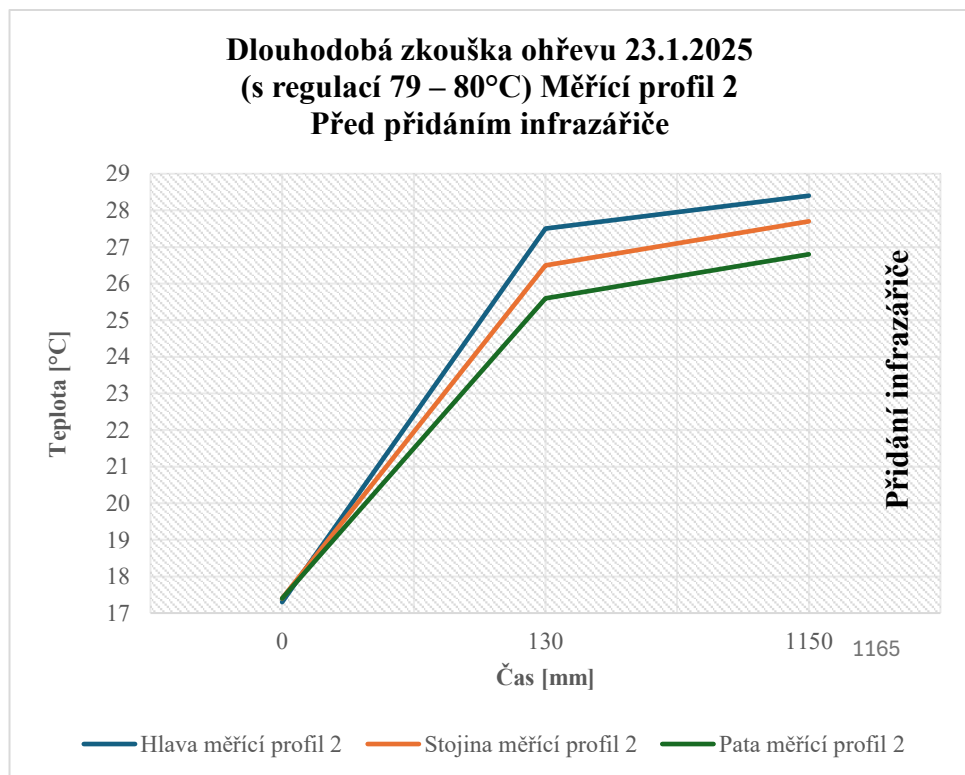
*Graf 14 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Pata kolejnice – před přidáním infrazářičů*



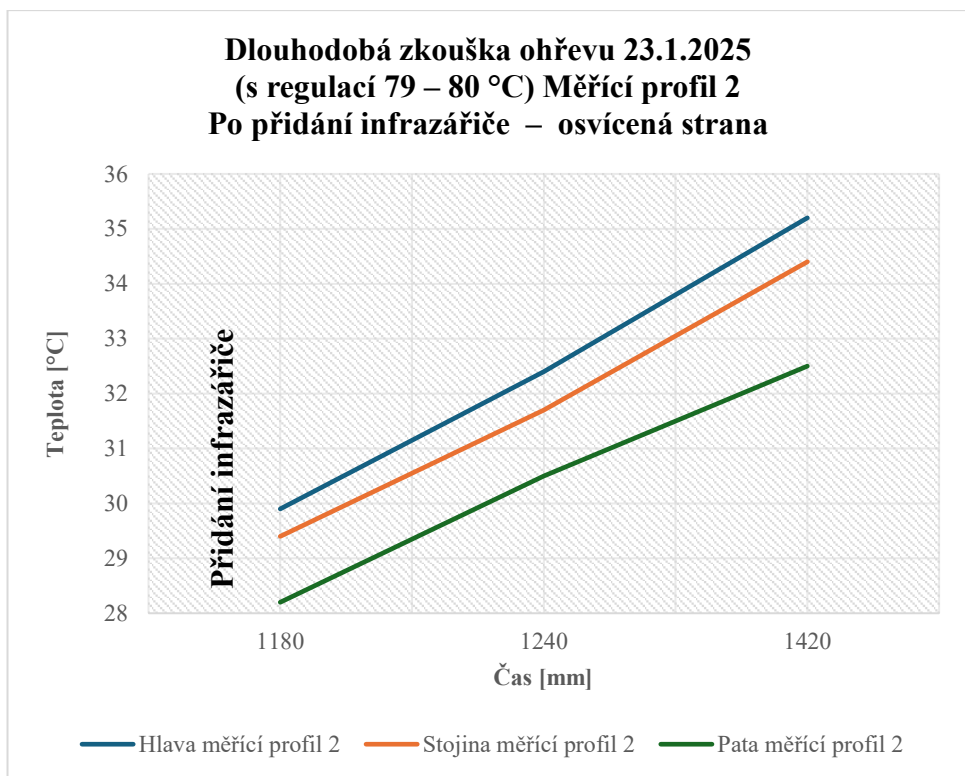
*Graf 15 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Pata kolejnice – po přidáním infrazářičů – osvětlená strana*



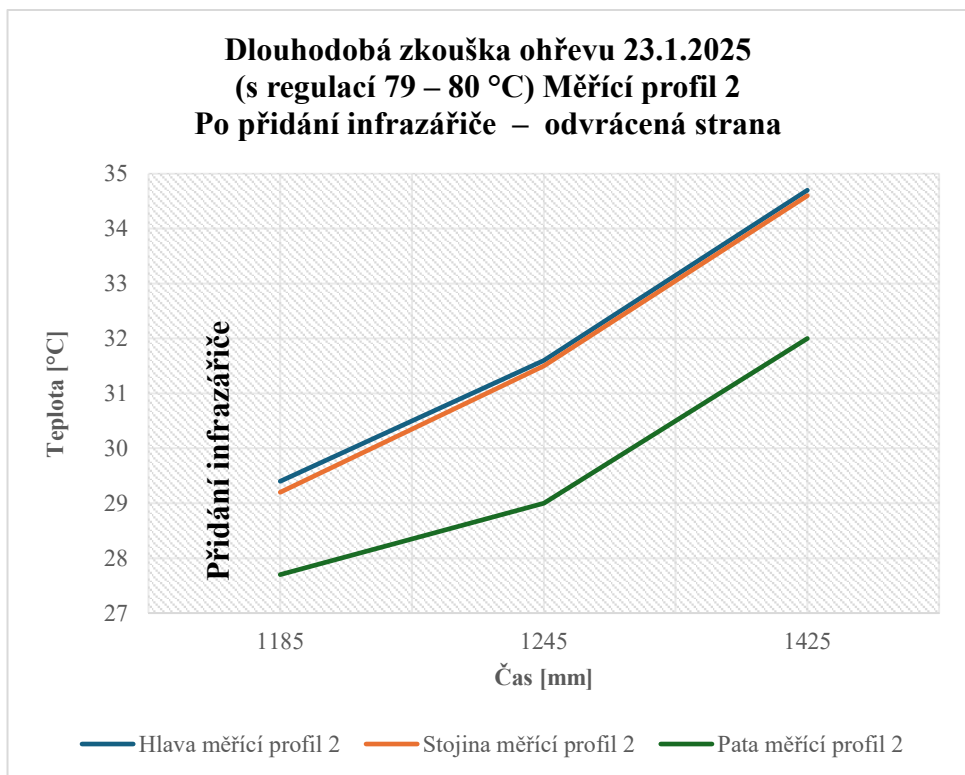
Graf 16 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Pata kolejnice – po přidání infrazářičů – odvrácená strana



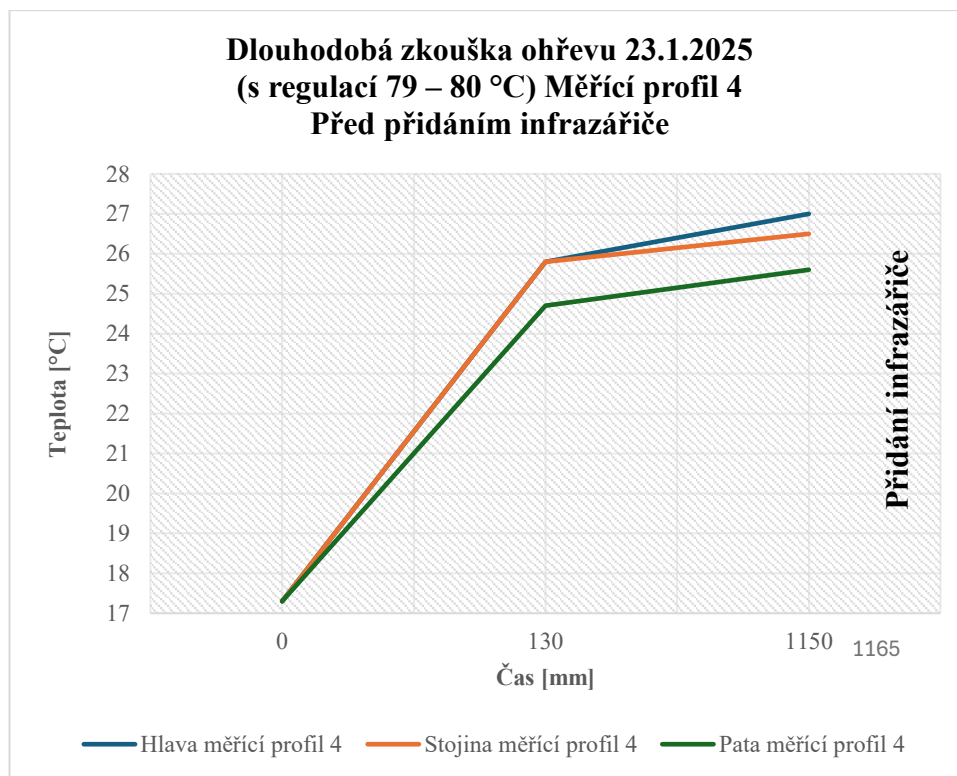
Graf 17 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřící profil 2 – před přidáním infrazářičů



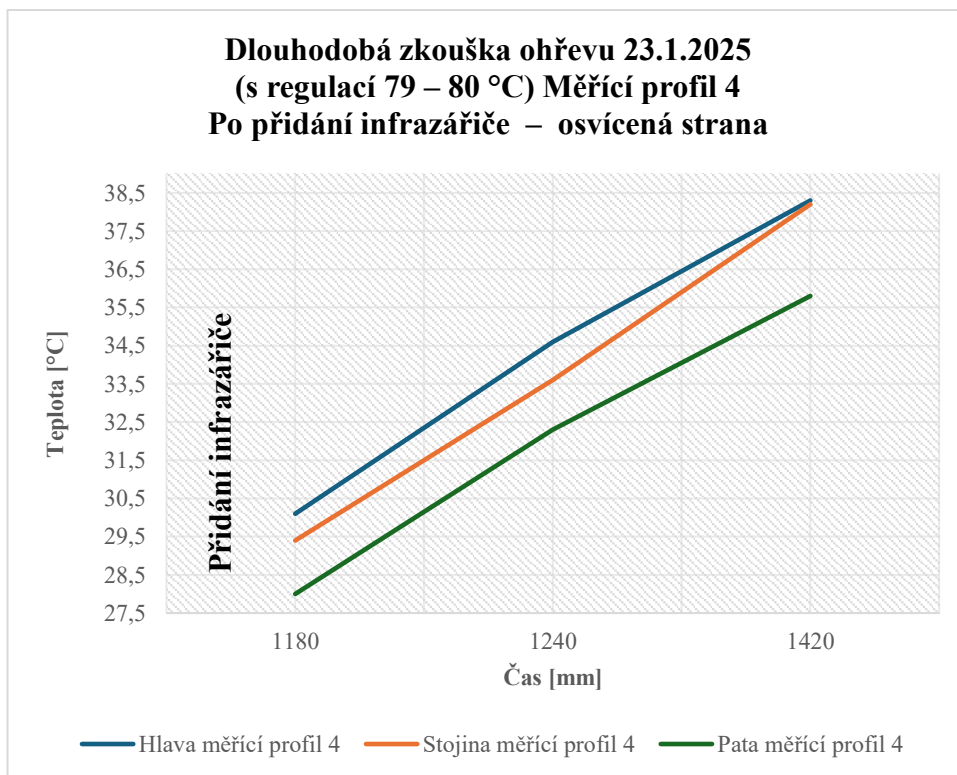
*Graf 18 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 2 – po přidání infrazářičů – osvětlená strana*



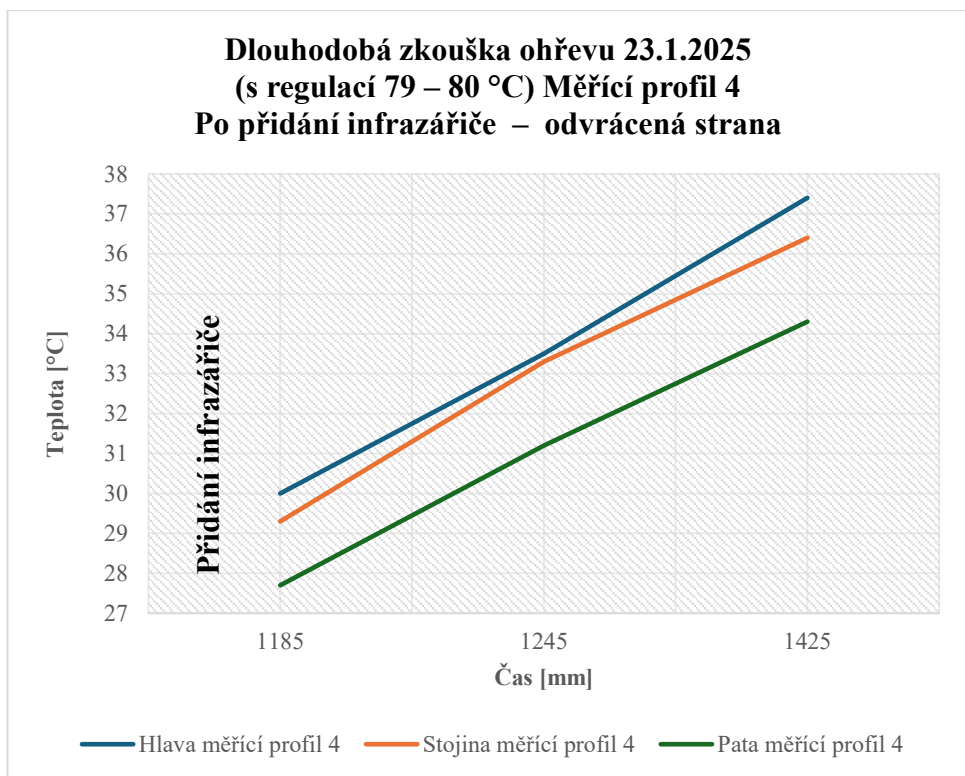
*Graf 19 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 2 – po přidání infrazářičů – odvrácená strana*



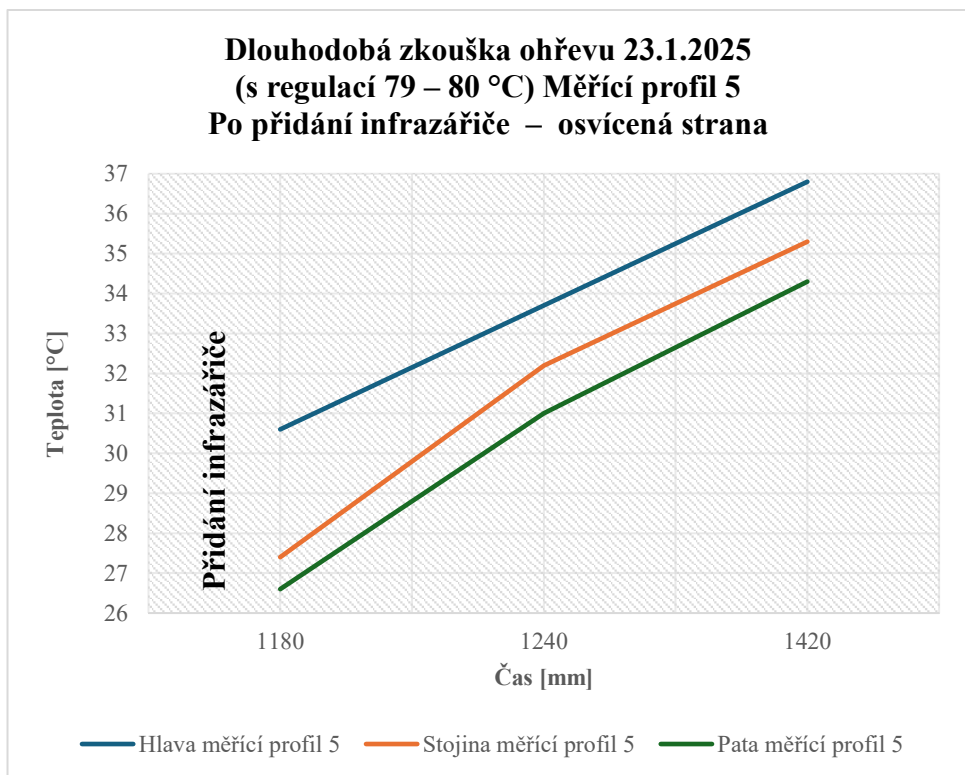
*Graf 20 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 4 – před přidáním infrazářičů*



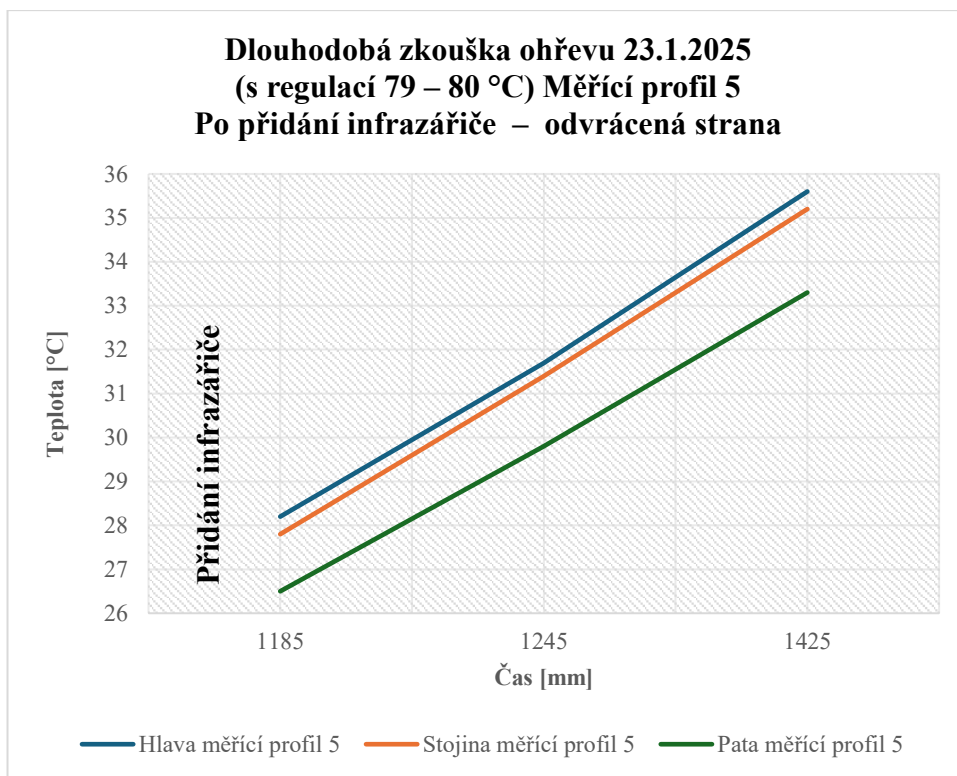
*Graf 21 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 4 – po přidání infrazářičů – osvětlená strana*



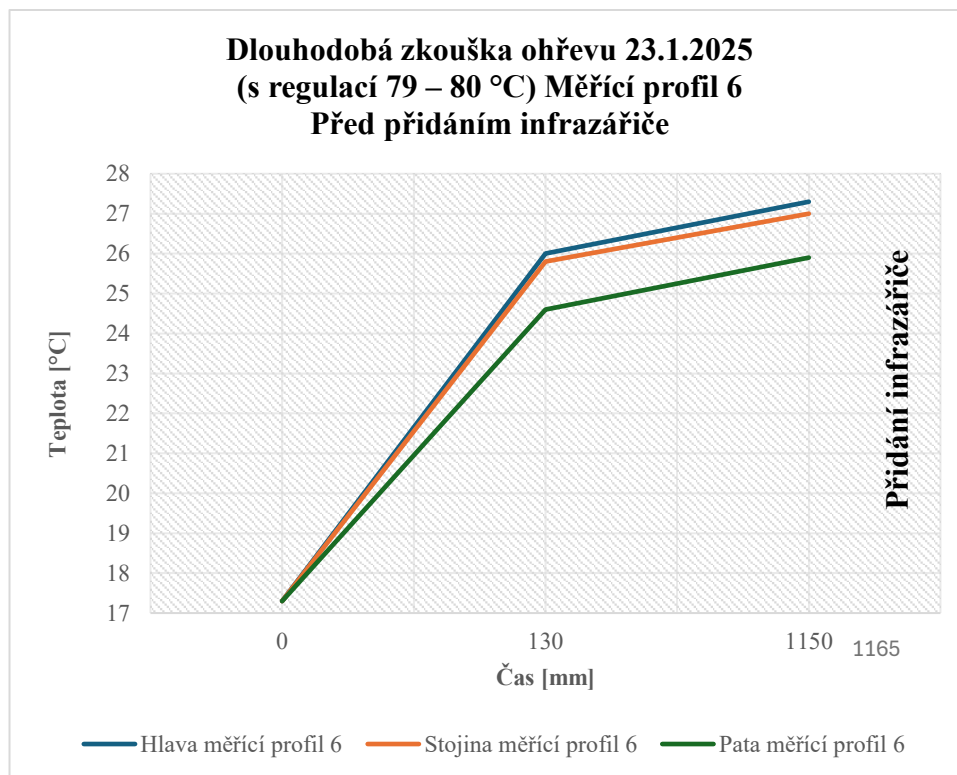
*Graf 22 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 4 – po přidání infrazářičů – odvrácená strana*



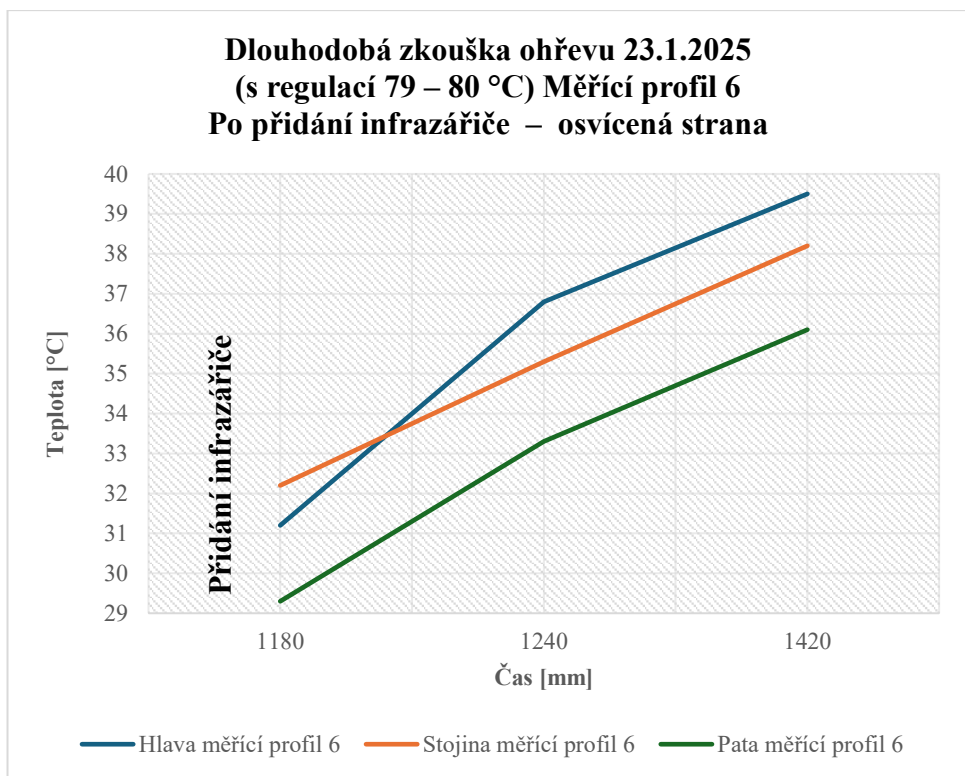
*Graf 23 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 5 – po přidání infrazářičů – osvětlená strana*



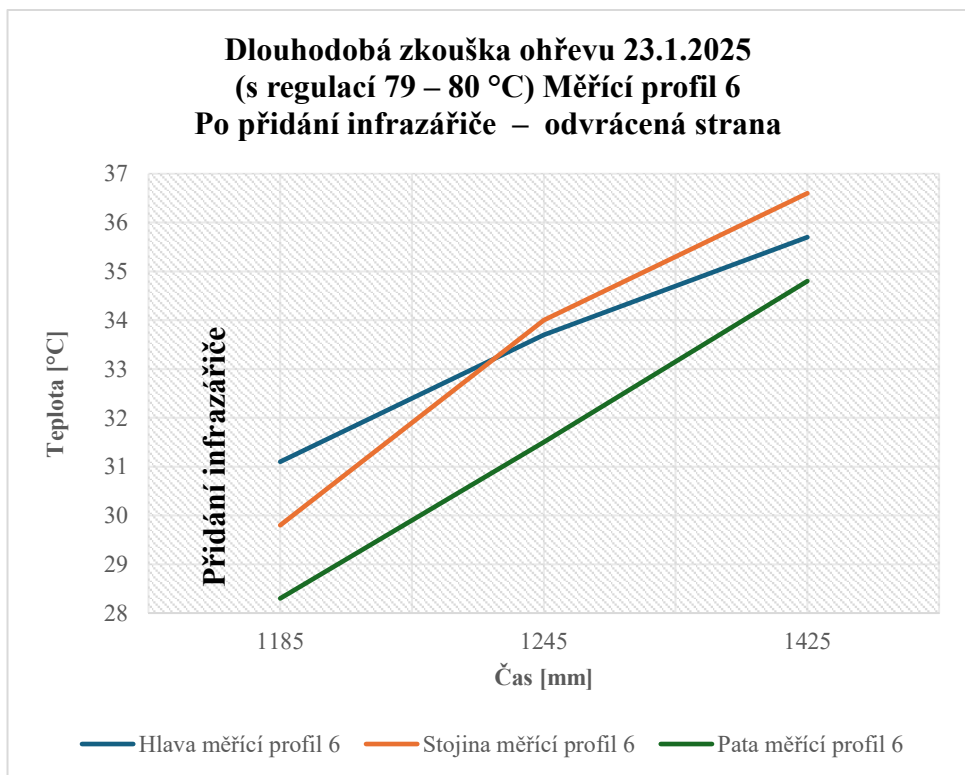
*Graf 24 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 5 – po přidání infrazářičů – odvrácená strana*



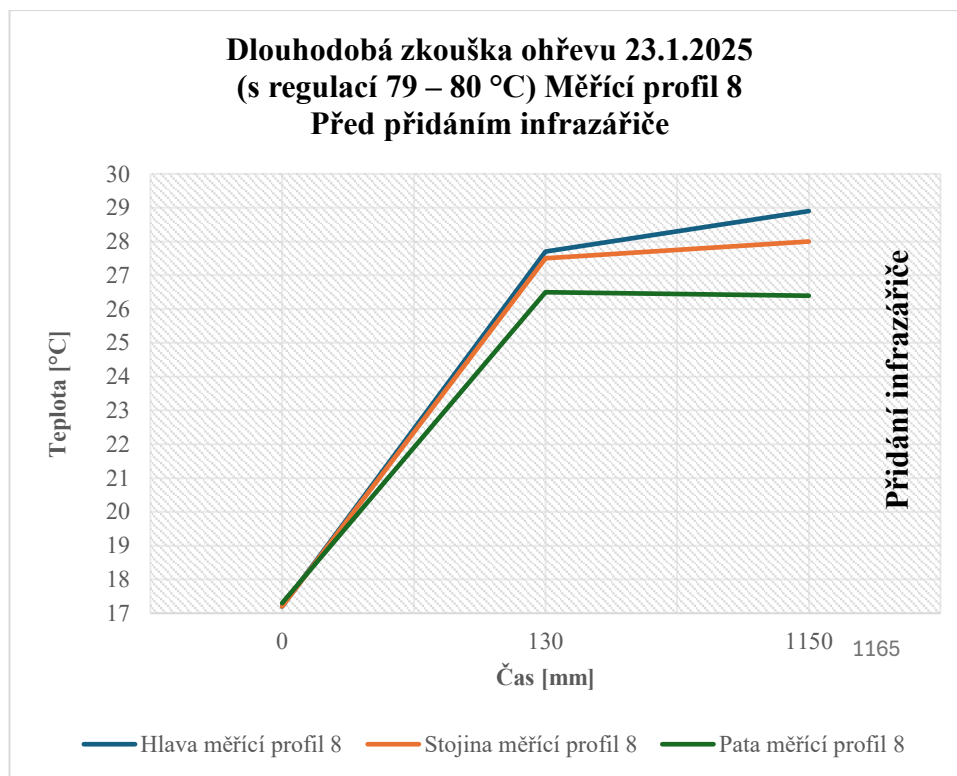
*Graf 25 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 6 – před přidáním infrazářičů*



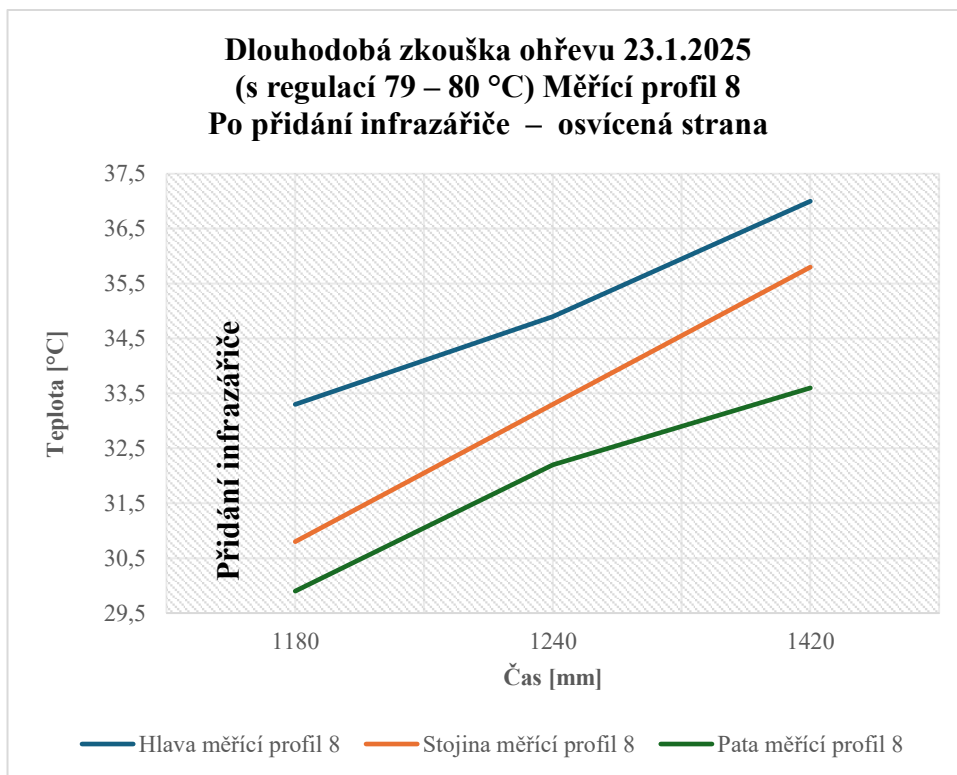
*Graf 26 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 6 – po přidání infrazářičů – osvětlená strana*



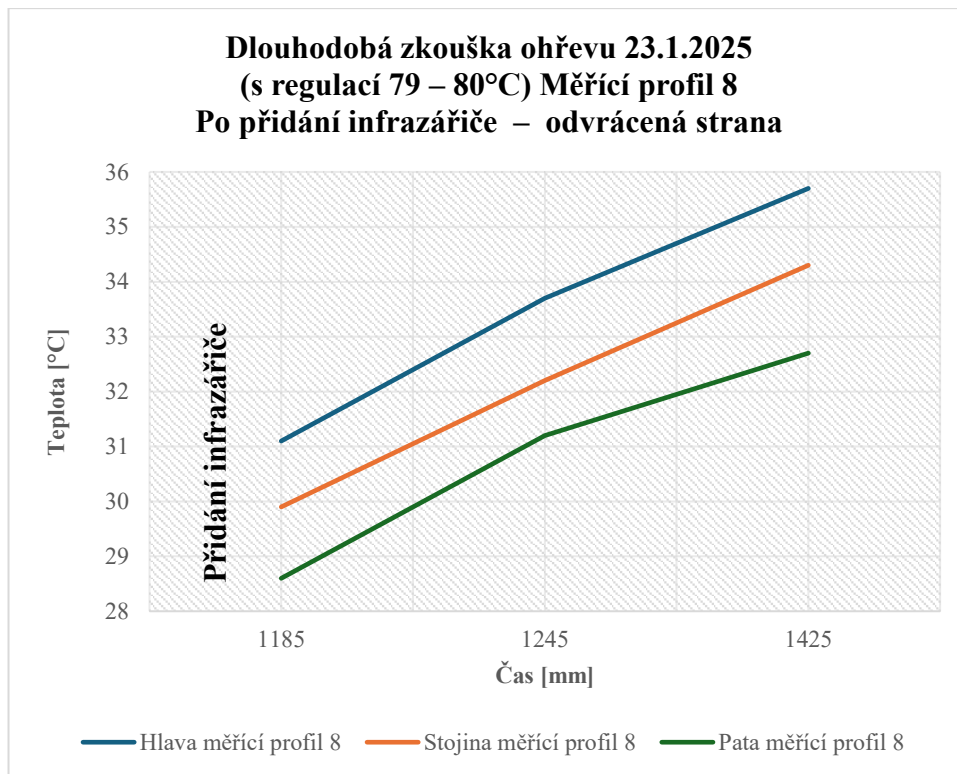
*Graf 27 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 6 – po přidání infrazářičů – odvrácená strana*



*Graf 28 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřící profil 8 – před přidání infrazářičů*



*Graf 29 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřící profil 8 – po přidání infrazářičů – osvícená strana*



*Graf 30 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 8 – po přidání infrazářičů – odvrácená strana*

Obě skupiny grafů společně poskytují ucelený pohled na rozložení a dynamiku teplotního pole v experimentální kolejnici během zkoušky. Poskytují tak ucelený pohled na rovnoměrnost ohřevu a vývoj teploty  $E_k$  v různých bodech.

#### 4.6.6.2. Vyhodnocení

Z dostupných dat je zřejmé, že nejvýraznější nárůst teploty experimentální kolejnice byl zaznamenán v prvních 130 minutách zkoušky. Tento rychlý náběh teploty je charakteristický pro všechny realizované zkoušky s použitím digitálních termostatů, kdy po dosažení nastaveného teplotního rozsahu dochází ke stabilizaci teploty a jejímu kolísání v rámci regulačních cyklů. Výsledkem je absence plynulého a rovnoměrně rostoucího ohřevu v čase, což je limitující zejména z hlediska přesné regulace ohřevu v delším časovém horizontu.

Významným poznatkem této zkoušky je i potvrzení výrazných teplotních rozdílů mezi stranou kolejnice orientovanou směrem k infrazářičům a stranou odvrácenou. Tato asymetrie je důsledkem jednostranného umístění infrazářičů a projevila se ve všech měřicích profilech. Kombinace topných těles a infrazářičů tak vykazuje značné limity

z pohledu rovnoměrnosti rozložení teploty v příčném řezu kolejnice, a tudíž se neukazuje jako vhodné řešení pro budoucí aplikace.

#### **4.6.7. Zkoušky ohřevu Ek pomocí infrazářičů**

V rámci ověřování potenciálu využití infrazářičů pro ohřev experimentální kolejnice byla provedena pouze jedna samostatná zkouška. Tato zkouška se uskutečnila dne 29. 1. 2025 viz příloha 25 a jejím cílem bylo především ověřit, zda je možné pomocí dvojice infrazářičů dosáhnout požadovaného zvýšení teploty kolejnice alespoň o 10 °C. Porovnání rovnoměrnosti ohřevu mezi osvětlenou a odvrácenou stranou kolejnice nebylo v této fázi považováno za klíčové, a proto byly teploty měřeny výhradně na odvrácené straně. Zkouška probíhala bez použití jakékoli formy regulace výkonu, a sloužila tak výhradně jako ověření základní funkčnosti infračerveného ohřevu.

Specifikem této zkoušky bylo rovněž její krátké trvání, čímž se odlišovala například od dlouhodobé zkoušky kombinující infrazářiče s topnými tělesy.

Tato jediná zkouška bude v následující části práce využita jako reprezentativní příklad pro prezentaci získaných naměřených hodnot a pro vyhodnocení účinnosti ohřevu výhradně pomocí infrazářičů.

##### **4.6.7.1. Prezentace výsledků**

V této části jsou prezentovány naměřené hodnoty z jediné zkoušky využívající infrazářiče jako samostatný způsob ohřevu. Způsob prezentace odpovídá metodice použité i v ostatních zkouškách. Výsledky jsou uspořádány do tří samostatných tabulek č. 16, 17 a 18, přičemž každá z nich zahrnuje měření v jednotlivých měřicích profilech vždy pro jednu konkrétní část průřezu kolejnice. Konkrétně se jedná o teploty v oblasti hlavy, stojiny a paty kolejnice.

Hlava měřicí profil 2	Hlava měřicí profil 4	Hlava měřicí profil 6	Hlava měřicí profil 8	Čas měření [mm]
19	18,8	18,8	18,8	0
19,3	19,3	19,3	19,4	2
19,8	19,9	19,7	19,8	4
20,3	20,1	20,2	19,9	6
20,5	20,5	20,5	20,3	8
21,3	21	21	21	10
22	21,8	21,9	21,6	15
22,8	22,7	22,7	22,4	20
23,9	23,5	23,5	23	25
24,5	24,4	24,4	23,5	30
25,6	25,2	25,2	24,4	35
26,6	26,3	26,6	25,4	40
27,5	27,4	27,5	26,3	45
28,2	28,2	28,2	26,9	50
29	28,9	28,9	27,4	55
29,6	29,6	29,7	28	60
30,3	30,4	29,9	28,7	65
30,8	30,5	30,7	29	70
31,5	31,5	31,6	29,4	75
32,7	33,2	33	30,5	80
32,6	32,3	32,8	29,8	85

*Tabulka 16 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí infrazářičů  
v jednotlivých měřících profilech na hlavě kolejnice*

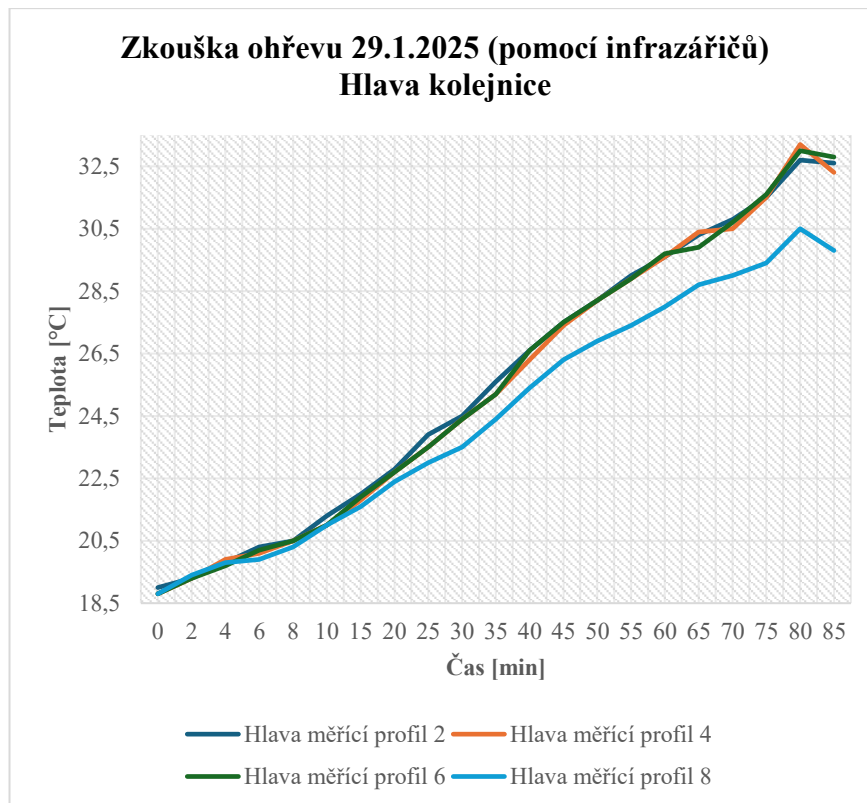
Stojina měřicí profil 2	Stojina měřicí profil 4	Stojina měřicí profil 6	Stojina měřicí profil 8	Čas měření [mm]
19	18,8	18,8	18,8	0
19,8	19,8	19,9	20	2
20,5	20,7	20,7	20,6	4
21	20,8	20,8	20,8	6
21,4	21	21,1	21,1	8
21,8	21,5	21,8	21,8	10
22,8	22,5	22,5	22,4	15
23,7	23,5	23,5	23,1	20
24,6	24,5	24,4	23,6	25
25,4	25,4	25,4	24,5	30
26,4	26,4	26,4	25,4	35
27,5	27,4	27,5	26,3	40
28,2	28,2	28,2	27,1	45
28,9	29	29	27,1	50
29,6	29,7	29,6	28,3	55
30,3	30,3	30,3	28,7	60
30,8	31	30,9	29,3	65
31,3	31,7	31,5	29,4	70
32	32,3	32,2	30,1	75
33,5	33,8	33,5	31,2	80
33,1	33,4	33,3	30,8	85

*Tabulka 17 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí infrazářičů  
v jednotlivých měřicích profilech na stojině kolejnice*

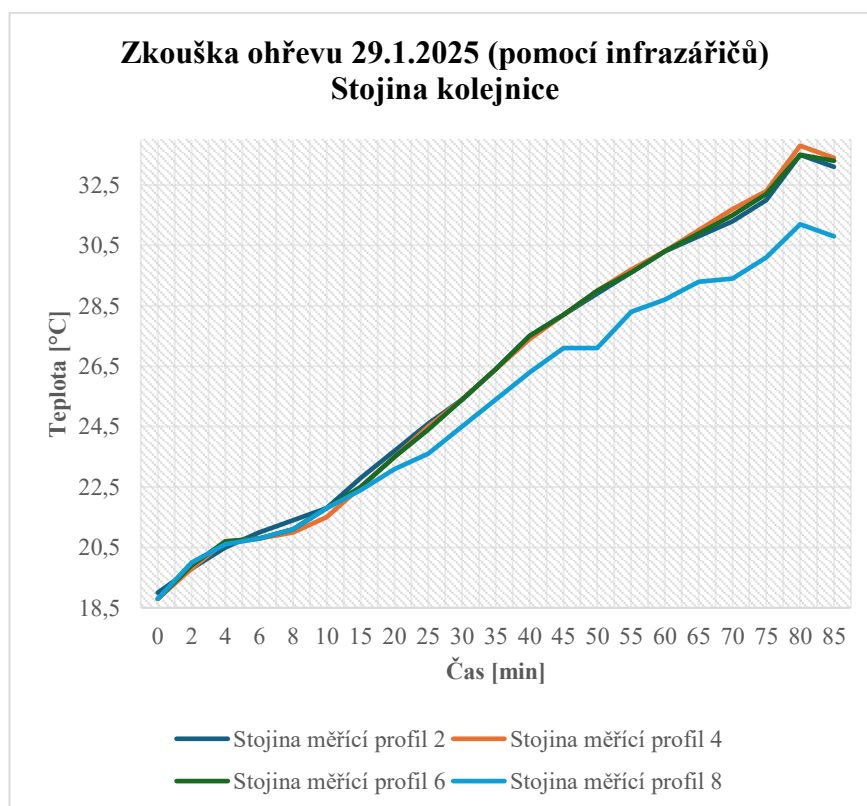
Pata měřící profil 2	Pata měřící profil 4	Pata měřící profil 6	Pata měřící profil 8	Čas měření [mm]
18,9	18,8	18,9	18,8	0
19,3	19,3	19,2	19,3	2
19,7	19,4	19,6	19,5	4
20,1	20,1	20,1	19,9	6
20,5	20,5	20,3	20,1	8
21	21	21	21	10
21,8	21,8	21,9	21,6	15
22,8	22,7	22,7	22,4	20
23,7	23,5	23,6	22,7	25
24,4	24,3	24,5	23,5	30
25,5	25,4	25,4	24,2	35
26,4	26,5	26,4	25,2	40
27,3	27,2	27,2	25,9	45
28	28,2	28,2	26,6	50
28,4	28,7	28,6	27	55
29,2	29,2	29,2	27,5	60
29,6	30	29,8	28	65
30,5	30,5	30,2	28,4	70
30,8	31,1	30,8	28,8	75
32,4	32,3	32,6	29,7	80
31,7	31,9	31,9	29,7	85

*Tabulka 18 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí infrazářičů v jednotlivých měřících profilech na patě kolejnice*

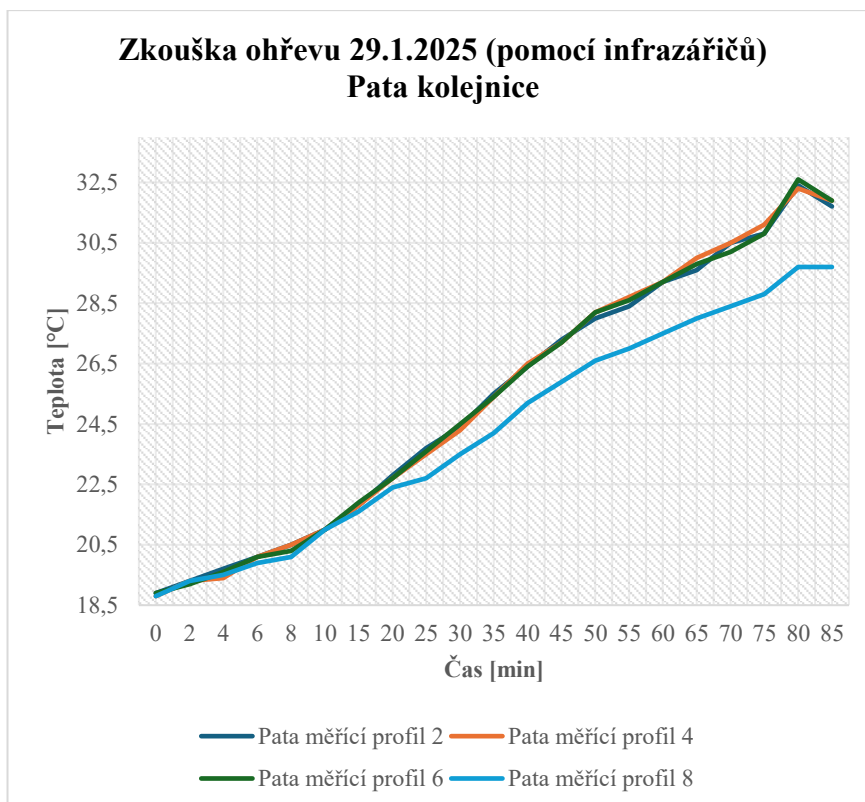
Součástí prezentace výsledků jsou i dvě skupiny grafů. První skupina grafů č. 31, 32 a 33 znázorňuje průběh teplot na hlavě, stojně a patě v rámci jednotlivých měřících profilů. Druhá skupina grafů č. 34, 35, 36 a 37 naopak zachycuje teploty v konkrétní části kolejnice napříč měřícími profily. Tento způsob zpracování umožňuje názorné posouzení účinnosti a rovnoměrnosti ohřevu a základní orientaci v teplotním rozložení po délce Ek.



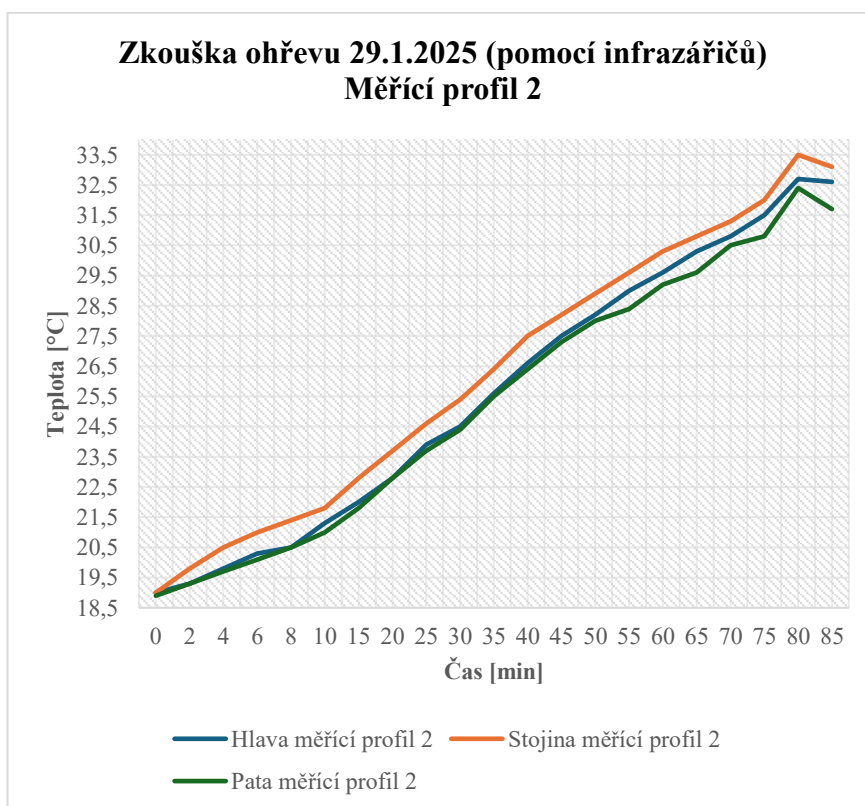
Graf 31 Zkouška ohřevu pomocí infrazářičů – hlava kolejnice



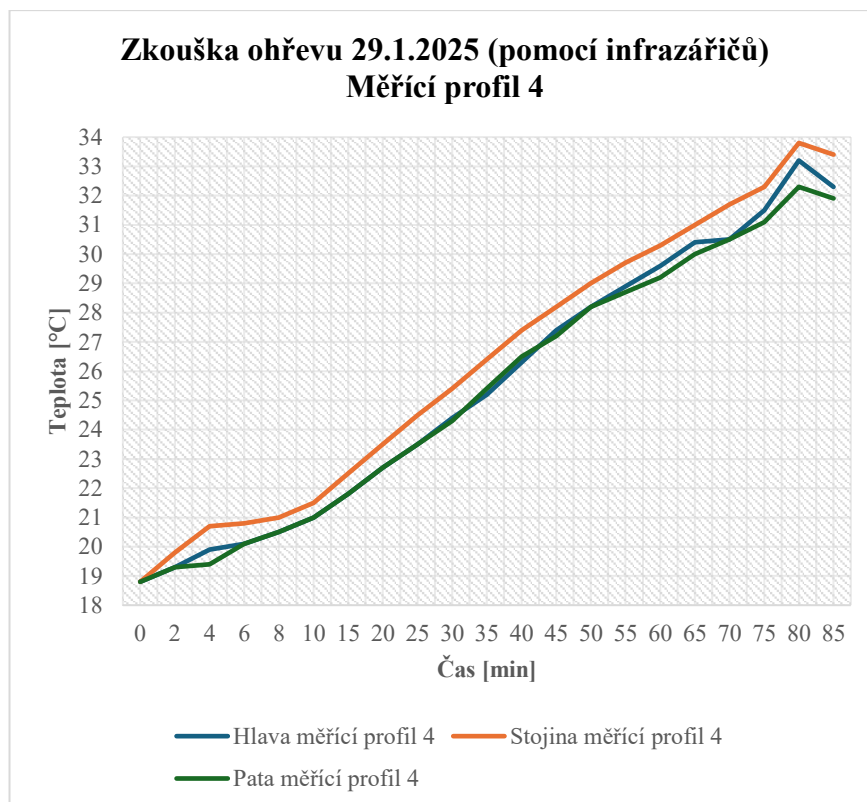
Graf 32 Zkouška ohřevu pomocí infrazářičů – stojina kolejnice



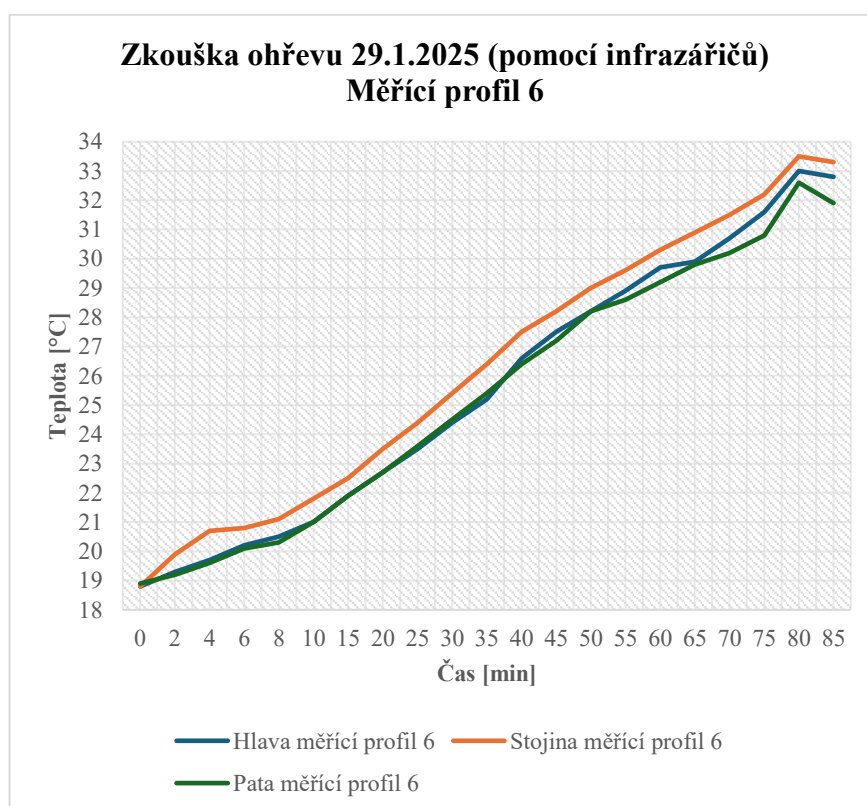
Graf 33 Zkouška ohřevu pomocí infrazářičů – pata kolejnice



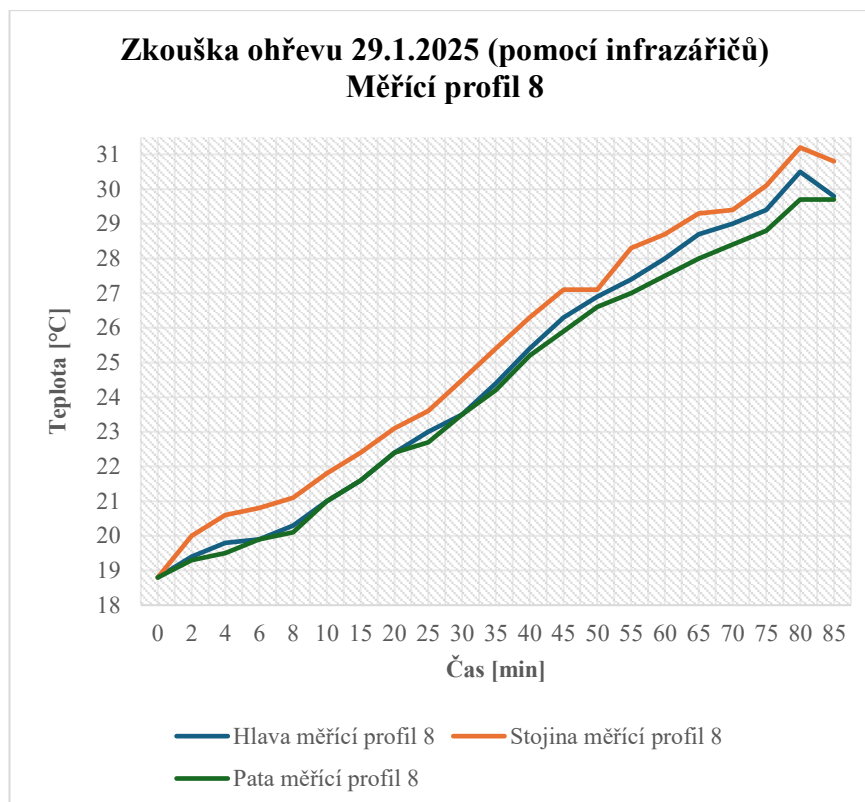
Graf 34 Zkouška ohřevu pomocí infrazářičů – Měřící profil 2



Graf 35 Zkouška ohřevu pomocí infrazářičů – Měřicí profil 4



Graf 36 Zkouška ohřevu pomocí infrazářičů – Měřicí profil 6



*Graf 37 Zkouška ohřevu pomocí infrazářičů – Měřicí profil 8*

#### 4.6.7.2. Vyhodnocení

Z výsledků této zkoušky vyplynulo, že samotný ohřev pomocí infrazářičů je schopen zajistit nárůst teploty kolejnice o přibližně 10 °C během několika desítek minut. Teplota na odvrácené straně kolejnice, která byla během měření sledována, rostla pozvolna, bez výraznějších skoků, a průběh teploty lze označit za plynulý. Z hlediska rovnoměrnosti teplotního pole však nelze s ohledem na rozsah a zaměření měření vyvozovat žádné závěry, neboť nebyla měřena teplota na osvícené straně kolejnice.

Průběh ohřevu nebyl po celé délce kolejnice zcela rovnoměrný. V místech, kde byl paprsek infrazářiče více kolmý k povrchu kolejnice, došlo k vyššímu nárůstu teploty. Naopak v krajních úsecích, kde dopadalo infračervené záření pod ostřejším úhlem, byly teploty nižší. Tato nerovnoměrnost se nejvýrazněji projevila v oblasti měřicího profilu číslo 8. Výraznější rozdíly byly dále patrné i mezi jednotlivými částmi průřezu kolejnice. Nejnižší teploty byly zaznamenány v oblasti paty kolejnice, což lze přičíst menší ploše této části, a tedy i nižší schopnosti absorbovat teplo z infračerveného záření.

Přestože v rámci zkoušky nebyla měřena teplota na osvětlené straně kolejnice, lze s vysokou pravděpodobností předpokládat její výrazně vyšší hodnotu oproti straně odvrácené. Tento předpoklad dále podtrhuje celkovou nerovnoměrnost ohřevu, která činí tento způsob ohřevu nevhodným pro další použití v rámci experimentálního měření. S ohledem na požadavky na plynulost a rovnoměrnost teplotního pole je vhodné se při výběru technologie ohřevu zaměřit na jiné, stabilnější varianty. I přes tyto skutečnosti však infrazářiče představují použitelnou záložní možnost, kterou lze v krajním případě využít.

#### **4.6.8. Zkoušky ohřevu Ek pomocí soustavy topných těles (měření teploty na povrchu Ek)**

Tato kapitola se věnuje úvodní fázi testování způsobu ohřevu experimentální kolejnice pomocí soustavy odporových topných těles. Jejich hlavním cílem bylo ověřit, zda je tento způsob ohřevu vhodný pro účely experimentu, a současně stanovit vhodné technické uspořádání celé ohřevné soustavy. Během zkoušek byly testovány různé varianty uchycení topných těles ke kolejnici, jejich prostorové rozmístění a způsoby regulace jejich činnosti.

Z hlediska regulace byly provedeny zkoušky s použitím digitálních termostatů s teplotními sondami a později také s použitím triakových regulátorů napětí. Obě varianty byly zkoumány z hlediska plynulosti a rovnoměrnosti ohřevu a možnosti udržení teploty v požadovaném rozsahu.

Veškerá měření teploty byla v této fázi prováděna bezkontaktně pomocí laserového teploměru Fluke 574, přičemž se sledovala povrchová teplota Ek v definovaných bodech a časových intervalech. Tento způsob měření poskytoval dostatečný přehled o teplotních změnách v čase a byl vhodný pro prvotní testování základních parametrů ohřevu.

Celkem bylo provedeno osm samostatných zkoušek ohřevu Ek pomocí soustavy topných těles s měřením teploty na povrchu kolejnice. První dvě z prosince 2024 viz přílohy 13 a 15 se zaměřily na ověření základní funkčnosti topných těles a jejich izolačních vlastností. V lednu 2025 následovala série zkoušek viz příloha 16, při nichž byly testovány různé varianty uchycení topných těles ke kolejnici, způsob jejich rozmístění a funkčnost regulace pomocí digitálních termostatů. V poslední zkoušce,

provedené 21.02.2025 viz příloha 28, byla poprvé ověřena funkčnost regulace pomocí triakových regulátorů napětí.

Na tyto zkoušky navazuje následující kapitola, ve které již byla použita pokročilejší metoda měření v podobě sestavy digitálních teplotních sond DS18B20 umístěných přímo do tělesa kolejnice, umožňující detailnější a přesnější záznam skutečné teploty materiálu.

#### 4.6.8.1. Prezentace výsledků

Z osmi provedených zkoušek ohřevu zmíněných výše byla vybrána jedna jako reprezentativní. Jedná se o poslední zkoušku ohřevu provedenou dne 22.1.2025. Výstupy z této zkoušky zde budou prezentovány jako ukázkové. Lze si z nich udělat obrázek nejen o postupu zkoušky, způsobu měření, záznamu a zpracování dat, ale také o problémech, které provázely vývoj tohoto způsobu ohřevu Ek při snaze o dosažení rovnoměrného plynulého ohřevu.

Prezentace naměřených hodnot je obdobně jak v předchozích kapitolách. Výsledky jsou uspořádány do tří samostatných tabulek č. 19, 20 a 21, přičemž každá z nich zahrnuje měření v jednotlivých měřicích profilech vždy pro jednu konkrétní část průřezu kolejnice. Konkrétně se jedná o teploty v oblasti hlavy, stojiny a paty kolejnice.

Hlava měřící profil 2	Hlava měřící profil 4	Hlava měřící profil 6	Hlava měřící profil 8	Čas měření [mm]
19,4	19,3	19,3	19,7	0
22,4	21,1	21,7	22,7	3
21,7	20,7	21	21,8	6
21,6	20,7	21,1	22,1	9
22,2	21,4	22,5	22,5	12
21,7	20,8	22,4	22,3	15
22,2	21	21,3	22,5	18
				21
22,2	21,4	21,6	22,7	24
22,5	21,4	21,8	23,1	27
23	21,7	22	23,4	30
22,6	21,4	22	24,1	33

*Tabulka 19 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí soustavy topných těles v jednotlivých měřicích profilech na hlavě kolejnice*

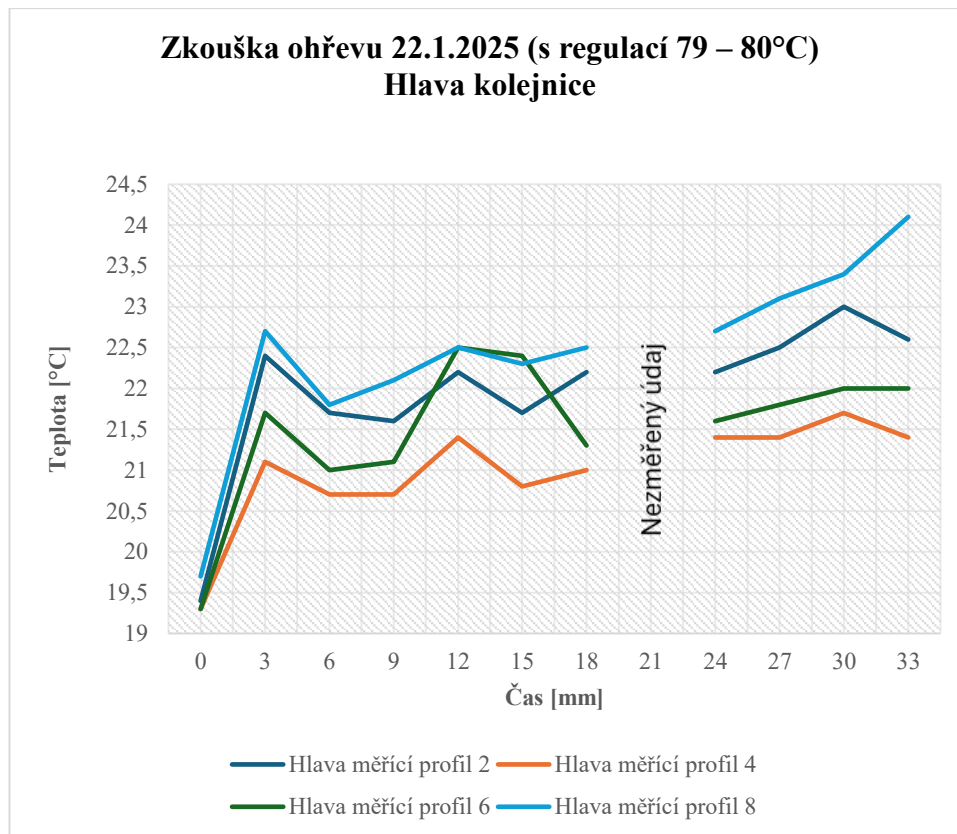
Stojina měřící profil 2	Stojina měřící profil 4	Stojina měřící profil 6	Stojina měřící profil 8	Čas měření [mm]
19,3	19	19	19,3	0
21,4	20,7	21,1	21,8	3
20,8	20,3	20,5	21	6
21,2	20,6	20,6	21,6	9
21,4	20,9	21,1	22	12
21,2	20,5	20,6	21,4	15
21,1	20,7	20,8	21,8	18
				21
21,4	20,8	21	22,3	24
21,6	21,1	21,1	22,5	27
22	21,2	21,7	22,7	30
21,8	21	22,3	23,2	33

*Tabulka 20 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí soustavy topných těles v jednotlivých měřících profilech na stojině kolejnice*

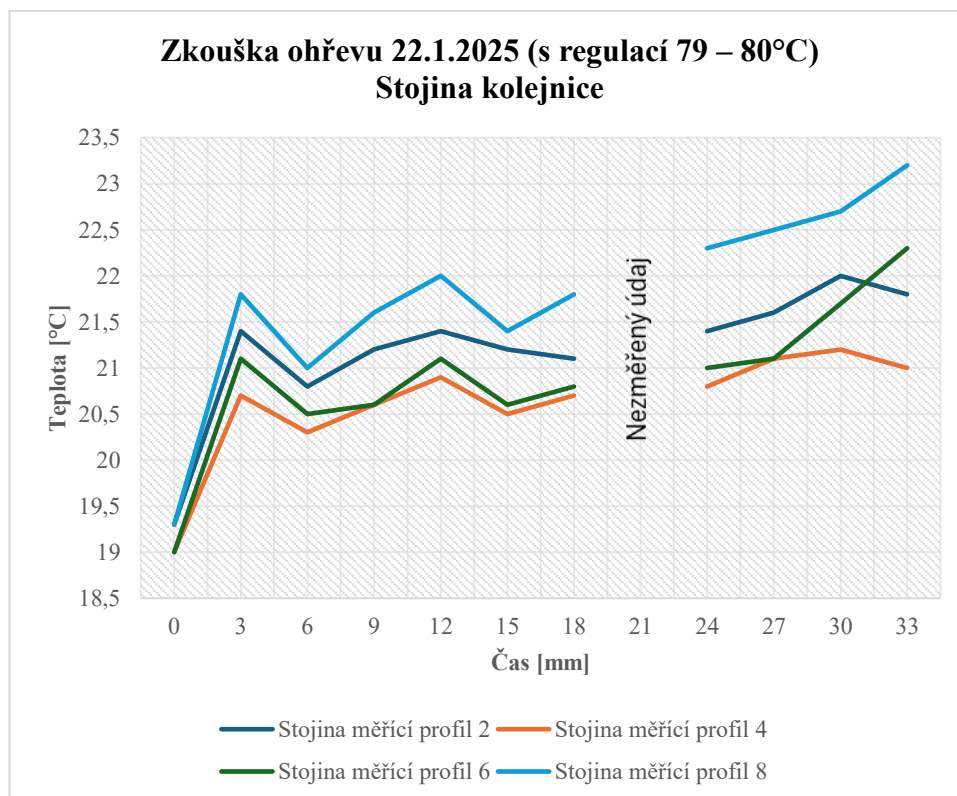
Pata měřící profil 2	Pata měřící profil 4	Pata měřící profil 6	Pata měřící profil 8	Čas měření [mm]
19	18,8	19	19,1	0
21	20,6	20,7	20,7	3
20,3	20	20,1	20,2	6
20,6	20,1	20,1	20,4	9
20,3	20,3	20,4	20,7	12
20,5	20,1	20,3	20,6	15
20,7	20,3	20,3	20,8	18
				21
20,7	20,3	20,4	21	24
21,1	20,5	20,7	21,1	27
21,5	21	21,1	21,6	30
21,2	20,7	21,2	21,7	33

*Tabulka 21 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí soustavy topných těles v jednotlivých měřících profilech na patě kolejnice*

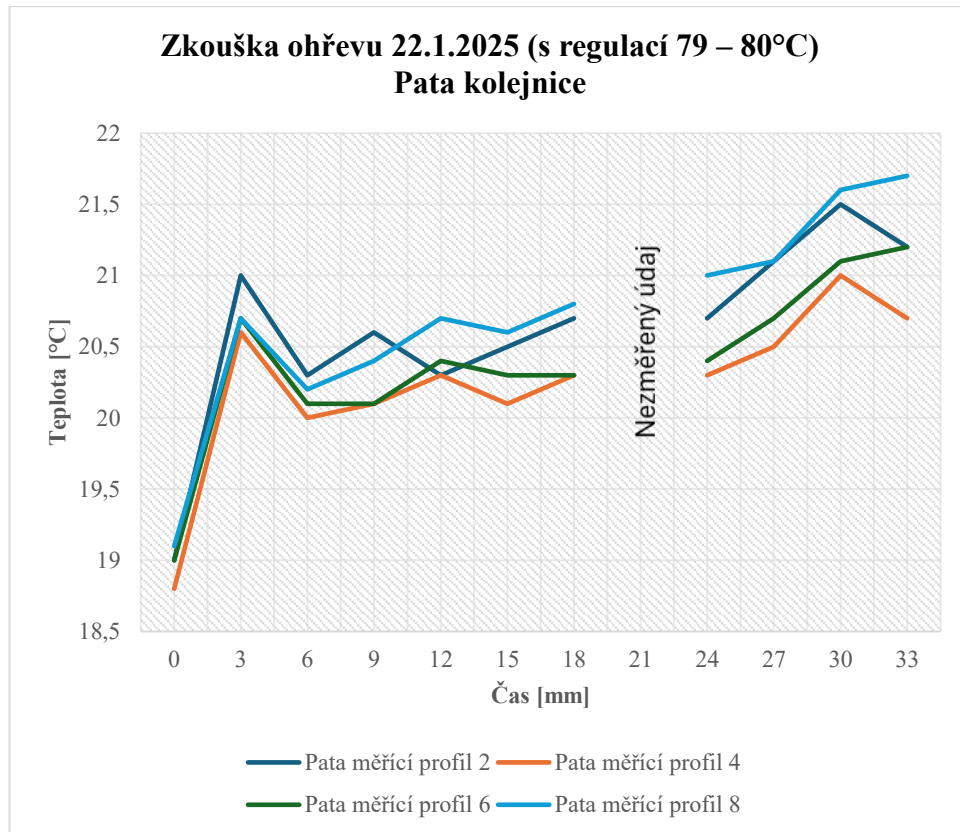
Grafická interpretace výsledků je podobně jako u předchozí kapitoly realizována pomocí dvou skupin grafů. První skupina grafů č. 38, 39 a 40 znázorňuje průběh teplot na hlavě, stojině a patě v rámci jednotlivých měřících profilů. Druhá skupina grafů č. 41, 42, 43 a 44 naopak zachycuje teploty v konkrétní části kolejnice napříč měřícími profily.



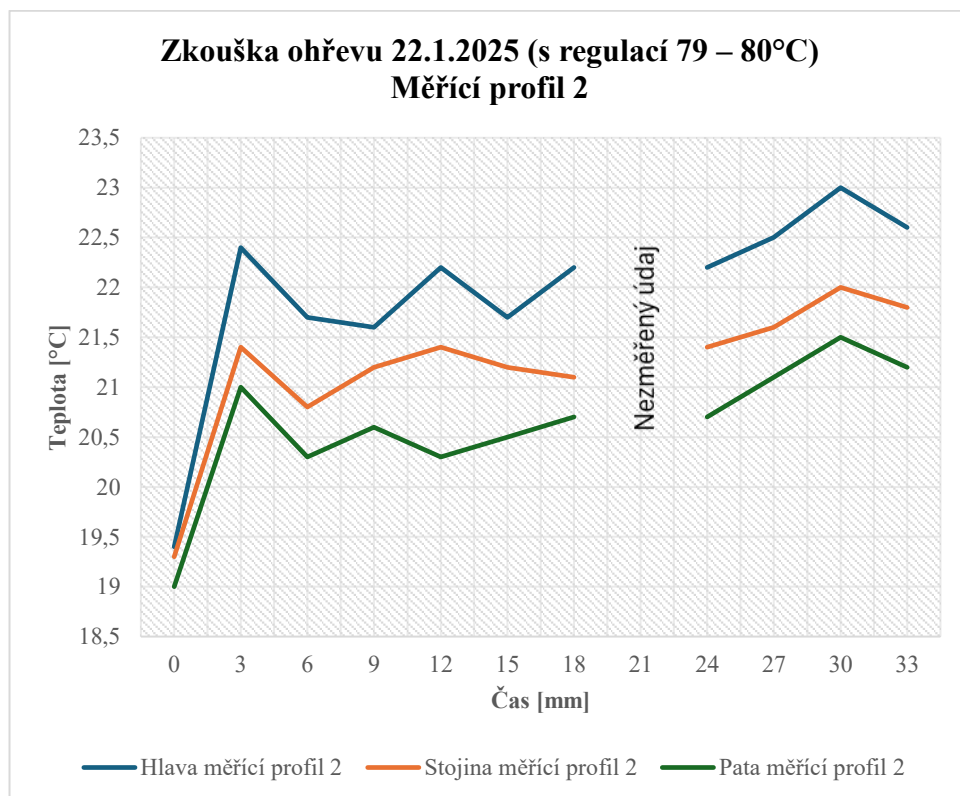
Graf 38 Zkouška ohřevu pomocí soustavy topných těles – hlava kolejnice



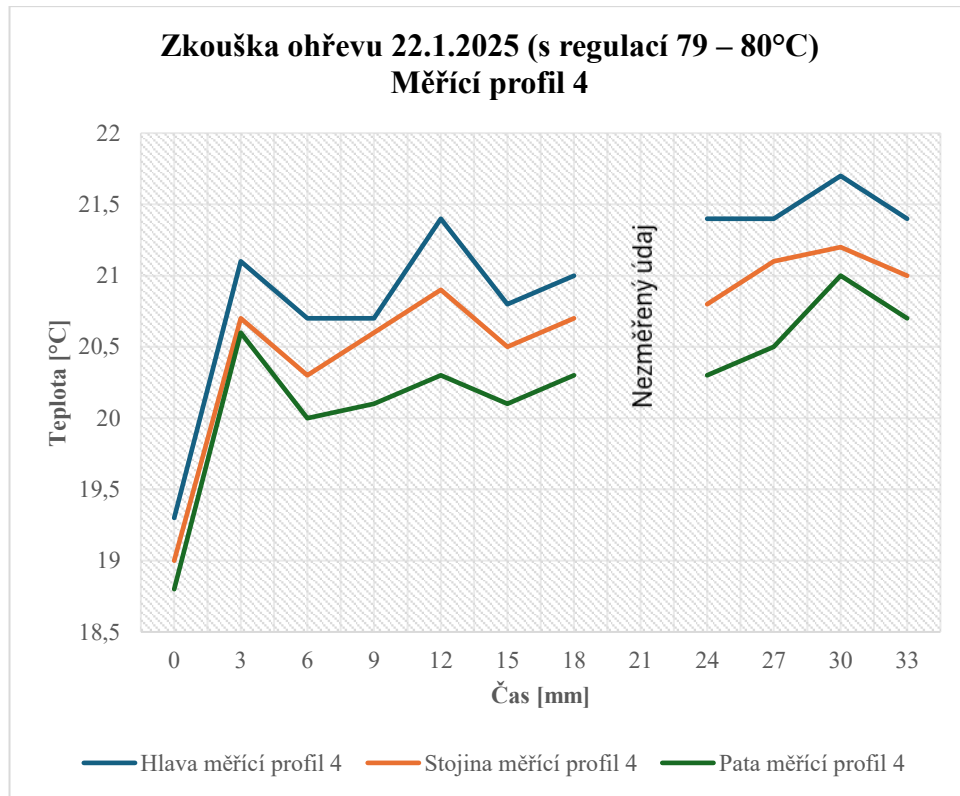
Graf 39 Zkouška ohřevu pomocí soustavy topných těles – stojina kolejnice



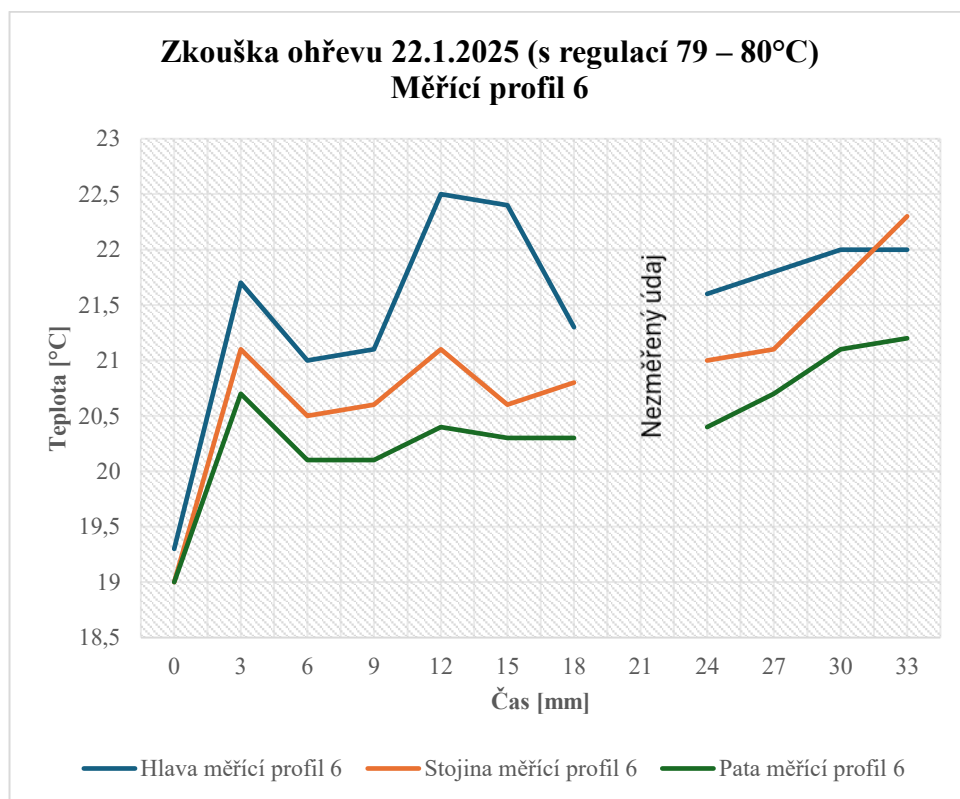
Graf 40 Zkouška ohřevu pomocí soustavy topných těles – pata kolejnice



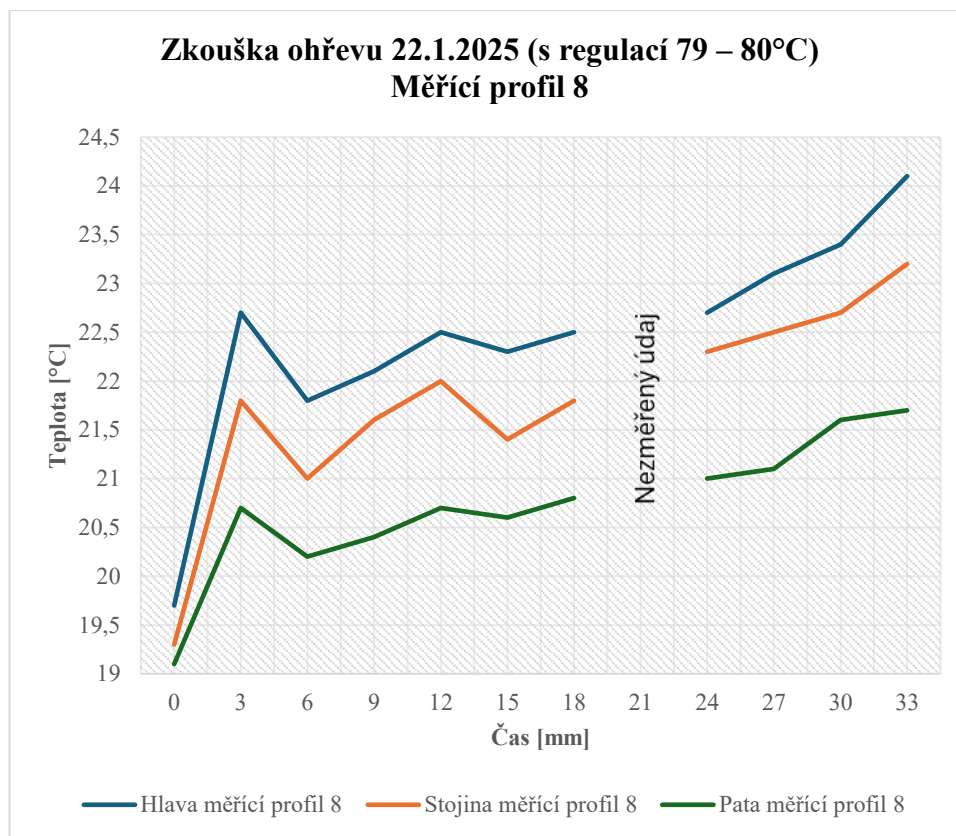
Graf 41 Zkouška ohřevu pomocí soustavy topných těles – měřící profil 2



Graf 42 Zkouška ohřevu pomocí soustavy topných těles – měřící profil 4



Graf 43 Zkouška ohřevu pomocí soustavy topných těles – měřící profil 6



Graf 44 Zkouška ohřevu pomocí soustavy topných těles – měřící profil 8

#### 4.6.8.2. Vyhodnocení

Vyhodnocení provedených zkoušek ukázalo, že použití digitálních termostatů s teplotní sondou jako regulačního prvku sice umožňuje základní kontrolu nad průběhem ohřevu, nicméně není vhodné pro dosažení plynulého a rovnoměrného nárůstu teploty experimentální kolejnice. Typickým jevem pozorovaným ve všech těchto zkouškách byl prudký nárůst teploty v prvních minutách ohřevu, po němž následovalo její kolísání a stagnace. Tento nepravidelný průběh teploty je pro daný způsob regulace charakteristický a byl opakovaně potvrzen napříč jednotlivými zkouškami, včetně testů provedených s různými nastaveními spínacích teplot termostatů.

Rovněž byla zaznamenána výrazná nerovnoměrnost ohřevu napříč různými částmi kolejnice, která je způsobena jednak rozdílným spínáním jednotlivých termostatů, jednak omezenou možností přesného řízení výkonu topných těles. Z těchto důvodů bylo od této formy regulace nakonec upuštěno a pozdější zkoušky již využívaly pokročilejší metodu regulace pomocí triakových regulátorů napětí, která umožnila plynulejší průběh ohřevu.

#### **4.6.9. Zkoušky ohřevu Ek pomocí soustavy topných těles (měření teploty uvnitř materiálu Ek)**

Tato kapitola se věnuje sérii zkoušek, během nichž byla teplota Ek měřena přímo uvnitř jejího materiálu za použití digitálních teplotních sond DS18B20. Tento způsob sledování teploty, na rozdíl od předchozích zkoušek zaměřených pouze na měření povrchové teploty pomocí laserového teploměru, umožnil výrazně přesnější a detailnější vyhodnocení teplotního chování kolejnice v závislosti na použité konfiguraci topných těles.

Zkoušky byly prováděny od 24. 2. 2025 do 7. 3. 2025 v příloze 29–35 a navazovaly bezprostředně na předchozí sérii měření s laserovým teploměrem. Od této fáze byly všechny zkoušky regulovány výhradně pomocí triakových regulátorů napětí, které umožňovaly plynulé a individuální nastavení napětí pro každou dvojici topných těles zvlášť. Díky tomu bylo možné lépe ovlivňovat rychlost i rovnoměrnost ohřevu a přizpůsobovat jednotlivé části soustavy aktuálním potřebám.

Hlavním cílem těchto zkoušek již nebylo ověřování funkčnosti topných těles nebo způsobu regulace, ale především ladění jejich prostorového rozmístění a vyladění výstupních parametrů regulace pro jednotlivé dvojice topných těles tak, aby byl ohřev Ek co nejrovnoměrnější v celé její délce a průřezu. Na základě výsledků každé zkoušky docházelo k úpravám polohy topných těles nebo k přenastavení výstupního napětí regulátorů, přičemž každý nový krok vycházel z předchozích zjištění a sloužil k systematickému zlepšování celého ohřevného systému.

##### **4.6.9.1. Optimalizace teplotní řady**

Při první zkoušce viz příloha č. 29 této série, provedené dne 24. 2. 2025, došlo k chybně zvolenému nastavení citlivosti záznamu u některých teplotních sond, konkrétně na hodnotu 0,5 °C namísto později používané přesnější citlivosti 0,01 °C. Vzhledem k tomu, že se jednalo o úvodní měření pomocí nově zavedené soustavy teplotních sond DS18B20, ještě chyběla zkušenost se správným nastavením měřicího systému. Na základě této malé citlivosti bylo u dvou teplotních sond zjištěno, že již jejich počáteční hodnota před zahájením samotného měření byla přibližně o 0,5 °C vyšší než u ostatních sond, i přes to, že teplota Ek byla v ten moment po celé délce konstantní. To způsobilo nesoulad v průběžích teplot a potenciálně by mohlo vést k chybným závěrům o míře a rovnoměrnosti ohřevu.

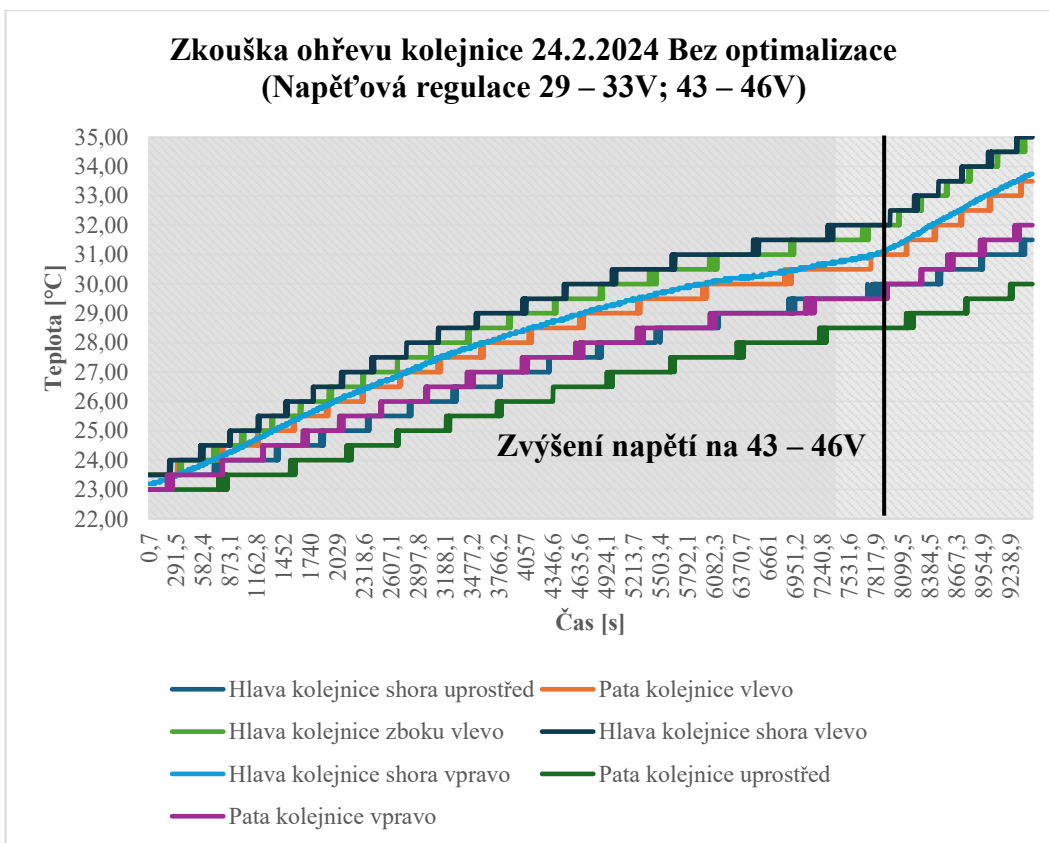
Z tohoto důvodu byla provedena dodatečná optimalizace těchto dvou datových řad spočívající v jejich posunu o konstantní hodnotu směrem dolů, aby jejich výchozí teplota odpovídala zbytku měření. Tento zásah byl nezbytný k tomu, aby bylo možné všechny teplotní průběhy vzájemně porovnat za shodných výchozích podmínek. Bez této úpravy by rozdíl v teplotě, vzniklý pouze rozdílným výchozím bodem, mohl být chybně interpretován jako rozdíl způsobený vlastním ohřevem. V následujících zkouškách již bylo nastavení všech sond sjednoceno, počáteční rozdíly v teplotách byly zanedbatelné a podobná korekce nebyla dále potřeba. Tuto optimalizaci hodnot datové řady lze interpretovat následujícím vztahem:

$$T_{opt,i} = T_i + \Delta T \text{ pro } i = 1, 2, \dots, n \quad (4.6)$$

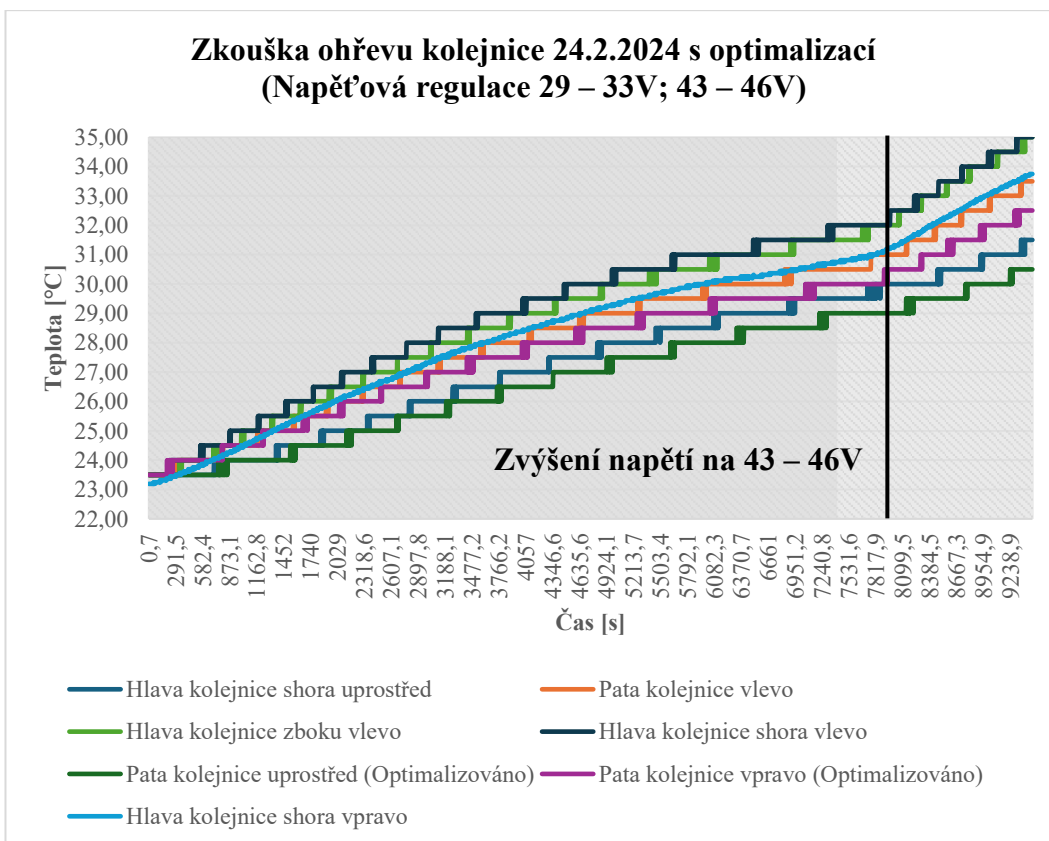
$$\Delta T = T_{ref} - T_{start} \quad (4.7)$$

Kde:	$T_{ref}$	... Požadovaná počáteční referenční teplota [°C],
	$T_{start}$	... Počáteční teplota před korekcí [°C],
	$\Delta T$	... Teplotní korekce aplikovaná na celou datovou řadu [°C],
	$T_i$	... $i$ – tá původní hodnota teploty řady [°C],
	$n$	... Celkový počet hodnot v řadě [-].

Příklad použití optimalizace teplotní řady je patrný z grafů č.45 a č. 46. Uvedené grafy znázorňují stav před aplikací optimalizace a po ní.



Graf 45 Kompletní soubor naměřených dat bez použití optimalizace teplotních řad



Graf 46 Kompletní soubor naměřených dat s použitím optimalizace teplotních řad

#### 4.6.9.2. Výpočty

Tato kapitola obsahuje podrobný popis způsobů analýzy a interpretace naměřených teplotních dat pomocí soustavy teplotních sond. Po zavedení tohoto způsobu měření teploty bylo přistoupeno k pokročilejšímu způsobu záznamu, analýzy a vyhodnocení teploty uvnitř materiálu experimentální kolejnice. Díky této technologii bylo dosaženo kontinuálního sběru dat s vyšší přesností, což umožnilo nejen sledovat samotný průběh ohřevu, ale i podrobně analyzovat rovnoměrnost rozložení teploty v různých místech průřezu kolejnice.

Díky právě kontinuálnímu záznamu dat z teplotních sond byla hodnota teploty z každé sondy během měření zapsána jednou za zhruba 2,5 sekundy. Při měřeních, která nezdávka trvala několik hodin byl objem naměřených teplotních údajů obrovský. Z toho důvodu nebylo možné v této práci prezentovat kompletní soubor naměřených dat pro každou zkoušku ohřevu v rámci číselného vyjádření pomocí tabulky. Místo toho je kompletní soubor dat teplotních údajů dostupný pro každou zkoušku ohřevu pouze formou grafu. Pro číselné vyjádření, prezentaci a další analýzu se používaly agregované soubory dat.

Agregace probíhá tak, že z původního souboru byla použita jedna hodnota, která se co nejvíce blíží časové vzdálenosti deseti minut od předchozí vybrané hodnoty měření a ostatní hodnoty byly odfiltrovány.

Tento desetiminutový krok je brán ve vztahu k reálnému času měření, kdy se zaznamenávala hodnota, která byla zapsána vždy co nejbližší k zaokrouhlení reálného času na celé desítky minut. Pokud tedy bylo v čase měření 12:00:00, tak byla vybrána hodnota, která se zapsala co nejbližší k tomuto času, tedy například ve 12:00:02. Další hodnota byla vybrána s desetiminutovým rozestupem, tedy opět co nejbližší času 12:00:00.

Pokud bylo měření teploty zahájeno například ve 12:04:00, kdy proběhl první zápis naměřených údajů teploty, pak bude vybrána tato první zaznamenaná teplota a následující bude co nejbližší času 12:10:00. Dále výběr probíhal standardním způsobem desetiminutového kroku.

Tento způsob agregace je prezentována v tabulce č. 22, kdy původnímu souboru dat výrazně zmenšil množství hodnot, nicméně vzhledem k délce měření neovlivnil vypovídající hodnotu.

Čas měření [s]	Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	temp0 [°C]	temp1 [°C]	temp2opt [°C]	temp3 [°C]	temp4opt [°C]	temp5 [°C]	temp6 [°C]
0,7	24.02.2025 14:28	23,50	23,50	0,50	23,19	0,50	23,50	23,50
92,3	24.02.2025 14:30:02	23,5	23,5	23,5	23,25	23,5	23,5	23,5
692,7	24.02.2025 14:40:02	23,5	24	23,5	24	24	24	24,5
1291,5	24.02.2025 14:50:01	24	25	24	24,94	25	25	25,5
1892,3	24.02.2025 15:00:02	25	25,5	24,5	25,81	25,5	26	26,5
2490,4	24.02.2025 15:10:00	25,5	26,5	25	26,62	26	27	27,5
3091,1	24.02.2025 15:20:01	26	27	25,5	27,44	27	28	28
3690,8	24.02.2025 15:30:00	26,5	28	26	28,06	27,5	28,5	29
4292,7	24.02.2025 15:40:02	27	28,5	26,5	28,69	28	29	29,5
4892,4	24.02.2025 15:50:02	28	29	27	29,19	28,5	30	30
5492,6	24.02.2025 16:00:02	28,5	29,5	27,5	29,69	29	30,5	30,5
6090,3	24.02.2025 16:10:00	29	30	28	30,12	29,5	31	31
6690,1	24.02.2025 16:20:00	29	30	28,5	30,37	29,5	31	31,5
7292	24.02.2025 16:30:01	29,5	30,5	29	30,69	30	31,5	31,5
7890,7	24.02.2025 16:40:00	30	31	29	31,06	30	32	32
8492,4	24.02.2025 16:50:02	30,5	32	29,5	32,13	31	33	33,5
9092,1	24.02.2025 17:00:01	31	33	30	33,19	32	34	34,5

*Tabulka 22 Ukázka agregace souboru naměřených dat ze zkoušky ohřevu  
25.2.2025*

Agregovaný soubor dat byl nadále použit pro statistickou analýzu. Účelem statické analýzy bylo především číselně vyjádřit míru rovnoměrnosti ohřevu jednotlivých zkoušek tak, aby se mohli mezi sebou porovnávat a bylo možné vybrat nejvhodnější konfiguraci ohřevu. K tomuto porovnání bylo vybráno několik nástrojů statistické analýzy.

Prvním nástrojem byla odchylka od průměrné teploty. Tento nástroj byl již podrobně popsán v kapitole 4.6.5.2. a při analýze těchto zkoušek ohřevu byl použit stejným způsobem. Nejprve je nutné vypočítat aritmetický průměr teplot zaznamenaných na všech měřených místech  $E_k$ . Poté následuje výpočet odchylky od průměrné hodnoty odečtením teplotních hodnot na jednotlivých měřených místech  $E_k$  od příslušné hodnoty aritmetického průměru teplot:

$$T_{prům,i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_{j,i} \quad (4.8)$$

Kde:  $T_{pr\u00fcm,i}$  ... Aritmetický pr\u00fcm\u011br teplot v \u010das\u011b  $i$  [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $T_{j,i}$  ... Nam\u011b\u011ben\u00e1 teplota  $j$   $j$  – t\u011b sondy v \u010das\u011b  $i$  [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $n$  ... Po\u010det teplotn\u00edch sond/ m\u011b\u011ben\u00fdch m\u00edst na  $E_k$  [-].

$$\Delta T_{j,i} = T_{j,i} - T_{pr\u00fcm,i} \quad (4.9)$$

Kde:  $\Delta T_{j,i}$  ... Odchylka od pr\u00fcm\u011brn\u00e9 teploty z  $j$  – t\u011b sondy v \u010das\u011b  $i$  [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $T_{j,i}$  ... Nam\u011b\u011ben\u00e1 teplota  $j$   $j$  – t\u011b sondy v \u010das\u011b  $i$  [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $T_{pr\u00fcm,i}$  ... Aritmetický pr\u00fcm\u011br teplot v \u010das\u011b  $i$  [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Ve chvíli, kdy byly vypo\u010dit\u00e1ny odchylky od pr\u00fcm\u011brn\u00e9 teploty pro v\u0161echna m\u011b\u011ben\u00e1 m\u00edsta  $E_k$ , n\u00e1sledovalo ur\u010den\u00ed maxim\u00e1ln\u00ed a minim\u00e1ln\u00ed odchylky. To bylo realizov\u00e1no prost\u00fdm v\u00fdb\u011berem maxim\u00e1ln\u00edch a minim\u00e1ln\u00edch hodnot odchylek v\u0161ech m\u011b\u011ben\u00fdch m\u00edst v konkr\u00e9tn\u00edch \u010das\u011bach m\u011b\u011ben\u00ed.

$$\Delta T_{min,i} = \min_j(\Delta T_{j,i}) \quad (4.10)$$

$$\Delta T_{max,i} = \max_j(\Delta T_{j,i}) \quad (4.11)$$

Kde:  $\Delta T_{j,i}$  ... Odchylka od pr\u00fcm\u011brn\u00e9 teploty z  $j$  – t\u011b sondy v \u010das\u011b  $i$  [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $\Delta T_{min,i}$  ... Minim\u00e1ln\u00ed odchylka od pr\u00fcm\u011brn\u00e9 teploty v \u010das\u011b  $i$  [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $\Delta T_{max,i}$  ... Maxim\u00e1ln\u00ed odchylka od pr\u00fcm\u011brn\u00e9 teploty v \u010das\u011b  $i$  [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Takto p\u0159ipraven\u00e9 hodnoty maxim\u00e1ln\u00edch a minim\u00e1ln\u00edch odchylek od pr\u00fcm\u011brn\u00e9 teploty poslou\u017eily pro v\u00fdpo\u010det prvn\u00edho n\u00e1stroje statistick\u00e9 anal\u00fdzy, kter\u00fd m\u00e1 vypov\u00edac\u00ed hodnotu p\u0159i ur\u010dov\u00e1n\u00ed rovnom\u011brnosti oh\u0159evu. T\u00edmto n\u00e1strojem bylo rozp\u011bt\u00ed odchylek, kter\u00e9 se vypo\u010dit\u00e1 prost\u00fdm ode\u010ten\u00edm hodnot minim\u00e1ln\u00edch odchylek od maxim\u00e1ln\u00edch:

$$R_i = \Delta T_{max,i} - \Delta T_{min,i} \quad (4.12)$$

Kde:  $\Delta T_{min,i}$  ... Minim\u00e1ln\u00ed odchylka od pr\u00fcm\u011brn\u00e9 teploty v \u010das\u011b  $i$  [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $\Delta T_{max,i}$  ... Maxim\u00e1ln\u00ed odchylka od pr\u00fcm\u011brn\u00e9 teploty v \u010das\u011b  $i$  [ $^{\circ}\text{C}$ ],  
 $R_i$  ... Rozp\u011bt\u00ed odchylek od pr\u00fcm\u011brn\u00e9 teploty v \u010das\u011b  $i$  [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Dal\u0161\u00edm pou\u017eit\u00fdm n\u00e1strojem statistick\u00e9 anal\u00fdzy byla sm\u011b\u0159odatn\u00e1 odchylka. Sm\u011b\u0159odatn\u00e1 odchylka byla ur\u010dena na z\u00e1klad\u011b n\u00e1sleduj\u00edc\u00edho vztahu:

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\Delta T_{j,i})^2} \quad (4.13)$$

Kde:  $\Delta T_{j,i}$  ... Odchylka od průměrné teploty z  $j$  – té sondy v čase  $i$  [°C],  
 $n$  ... Počet teplotních sond/ měřených míst na  $E_k$  [-],  
 $s_i$  ... Směrodatná odchylka z výběru [°C].

Následuje variační koeficient, který byl pro statistickou analýzu zvolen z důvodu menší citlivosti na extrémní hodnoty v souboru. Je vyjádřen následujícím vztahem:

$$v_i = \frac{s_i}{T_{prům,i}} 100 \quad (4.14)$$

Kde:  $s_i$  ... Směrodatná odchylka z výběru [°C],  
 $T_{prům,i}$  ... Aritmetický průměr teplot v čase  $i$  [°C],  
 $v_i$  ... Variační koeficient v čase  $i$  [%].

Posledním zvoleným nástrojem je mediánová odchylka. Tento nástroj byl zvolen z důvodu ještě menší citlivosti na extrémní hodnoty v datovém souboru. Je vyjádřen následujícím vztahem:

$$d_{med,i} = median(|T_{j,i} - T_{med,i}|) \quad (4.15)$$

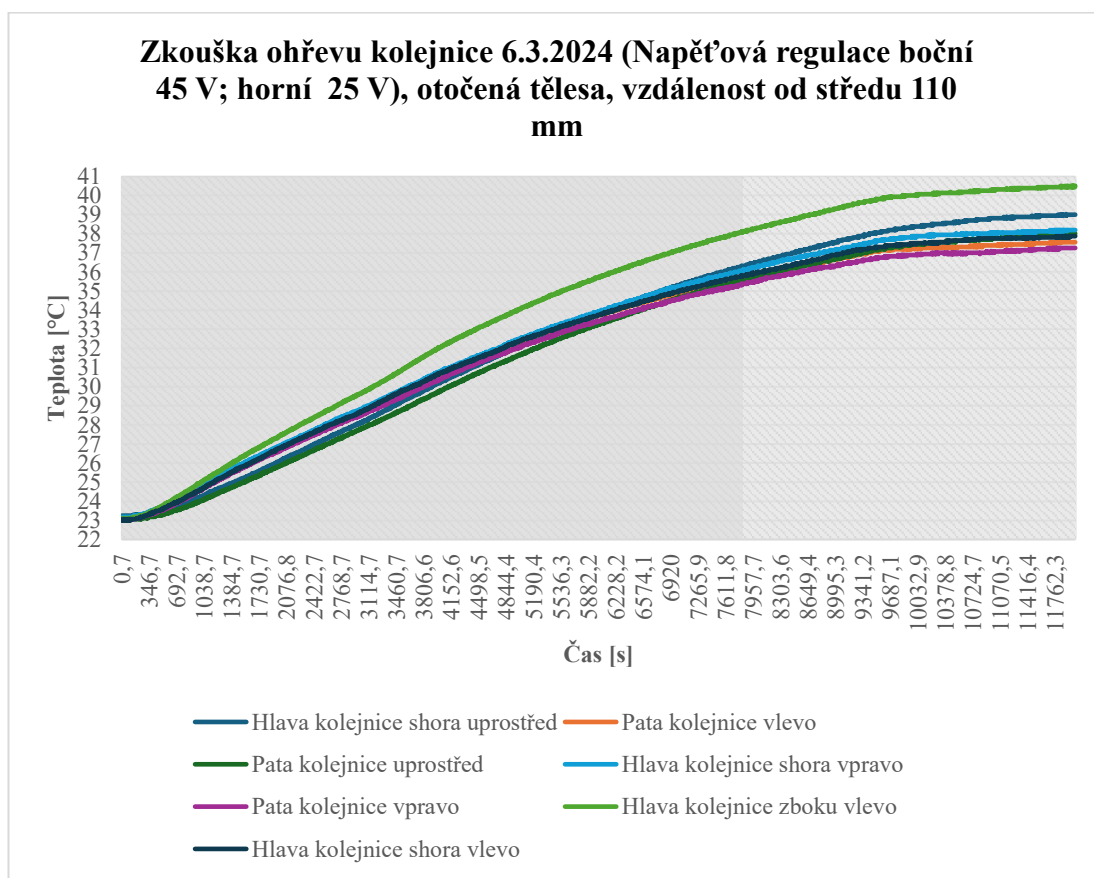
Kde:  $T_{j,i}$  ... Naměřená teplota  $j$  – té sondy v čase  $i$  [°C],  
 $T_{med,i}$  ... Medián teplot ze všech sond v čase  $i$  [°C],  
 $d_{med,i}$  ... Mediánová odchylka v čase  $i$  [°C].

### 4.6.9.3. Prezentace výsledků

Z provedených zkoušek ohřevu  $E_k$  pomocí soustavy topných těles, kde k měření teploty docházelo uvnitř materiálu kolejnice pomocí měřící sestavy teplotních sond DS18B20 byla vybrána zkouška provedená 6.3.2025 jako reprezentativní, dostupná v příloze č. 34. Na této zkoušce budou prezentovány způsoby práce s naměřenými teplotními daty, které byly obecně popsány v předchozí kapitole. Veškeré informace

o ostatních provedených zkouškách ohřevu, včetně prezentace naměřených dat a vyhodnocení jsou dostupné v přílohách č. 29–35.

Po realizaci každé zkoušky ohřevu, kde bylo měření teploty prováděno pomocí sestavy teplotních sond DS18B20, byl získán kompletní soubor naměřených teplotních dat, a to včetně časových údajů každého odečtu měření. Kompletní soubory naměřených dat jsou z důvodu jejich velkého objemu součástí práce pouze v grafické podobě. Na následujícím grafu č. 47 je znázorněn kompletní soubor naměřených dat z reprezentativní zkoušky ohřevu.



*Graf 47 Kompletní soubor naměřených dat z teplotních sond*

Na záznamu kompletního souboru naměřených dat reprezentativní zkoušky si lze povšimnout, že se jednalo o rovnoměrný plynulý ohřev na všech měřených místech kromě místa s názvem „Hlava kolejnice z boku vlevo“. Tohle konkrétní měřící místo vykazuje vyšší hodnoty teploty než ostatní a chová se nestandardně. Nejedná se o ojedinělý fenomén vyskytující se pouze u reprezentativní zkoušky ohřevu, ale jde o opakující se jev u všech zkoušek ohřevu, kde bylo měření teploty realizováno pomocí sestavy teplotních sond. Důvodem k nestandardnímu chování tohoto

konkrétního měřicího místa je nepochybně rozdílný způsob umístění teplotní sondy oproti ostatním měřicím místům na hlavě kolejnice. Na ostatních měřicích místech jsou totiž teplotní sondy zavedeny do hlavy kolejnice kolmo shora v místě podélné osy Ek. Oproti tomu v měřicím místě s nestandardním chováním je teplotní sonda do hlavy kolejnice zavedena z boku. O konkrétním umístění teplotních sond na Ek pojednává obrázek č. 18. Nejpravděpodobněji je skutečné umístění teplotní sondy v tomto měřicím místě blíže povrchu než u ostatních měřicích míst, kde jsou teplotní sondy zavedeny kolmo shoda hlavy kolejnice do podélné osy. Blíže k povrchu je materiál kolejnice při ohřevu více zahřátý a teplotní sonda v tomto místě vykazuje vyšší hodnoty teploty. Přítomnost tohoto nestandardních teplotních údajů z pouze jednoho měřicího bodu napříč všemi zkouškami ohřevu byla hlavním důvodem k rozšíření statistické analýzy výsledků o dva nástroje, které jsou méně citlivé na extrémní hodnoty v datových souborech. Jedná se o variační koeficient a mediánovou odchylku. Právě výsledkům těchto nástrojů statistické analýzy je přikládána největší váha při posouzení rovnoměrnosti ohřevu Ek.

Po získání kompletního souboru naměřených dat byl tento soubor následně „zmenšen“ – agregován způsobem popsaným v předchozí kapitole a vznikl tak agregovaný soubor naměřených dat. Tento soubor dat je pro jednotlivé zkoušky ohřevu v této práci dostupný i v číselné podobě a byl dále používán jako podklad pro výpočty a následné vyhodnocení. Agregovaný soubor naměřených dat reprezentativní zkoušky ohřevu znázorňuje tabulka č. 24. Tato tabulka č.23 uvádí jednotlivá měřená místa na Ek pomocí názvů teplotních sond temp0-temp6. Z toho důvodu se společně s tabulkou agregovaného souboru naměřených dat uvádí vždy také tabulka přiřazující názvům teplotních sond konkrétní měřicí místa na kolejnici.

ID	Název	Poloha
28D4E7D509000083	temp0	Hlava kolejnice shora uprostřed
2809CAD509000019	temp1	Pata kolejnice vlevo
282D6CD409000053	temp2	Pata kolejnice uprostřed
28FD82D4090000EF	temp3	Hlava kolejnice shora vpravo
2857A6350A0000B9	temp4	Pata kolejnice vpravo
288F63D509000081	temp5	Hlava kolejnice z boku vlevo
289FF2D5090000A0	temp6	Hlava kolejnice shora vlevo

*Tabulka 23 Přehled značení teplotních sond a jejich umístění na Ek*

Čas měření [s]	Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	temp0 [°C]	temp1 [°C]	temp2 [°C]	temp3 [°C]	temp4 [°C]	temp5 [°C]	temp6 [°C]
0,7	06.03.2025 13:16	23,25	23,06	23	23,19	23,06	23,12	23,06
238,5	06.03.2025 13:20	23,31	23,19	23,12	23,31	23,19	23,25	23,19
838,7	06.03.2025 13:30	24	24,31	23,75	24,44	24,19	24,56	24,31
1438,8	06.03.2025 13:40	25,06	25,69	24,81	25,81	25,56	26,12	25,69
2038,9	06.03.2025 13:50	26,25	26,94	25,94	27	26,75	27,56	26,87
2639	06.03.2025 14:00	27,44	28,06	27,12	28,19	27,87	28,87	28
3239,1	06.03.2025 14:10	28,56	29,19	28,19	29,25	28,94	30,19	29,12
3839,1	06.03.2025 14:20	29,87	30,37	29,44	30,44	30,06	31,69	30,31
4439,1	06.03.2025 14:30	31,06	31,44	30,62	31,5	31,19	32,94	31,37
5039,1	06.03.2025 14:40	32,19	32,44	31,69	32,56	32,13	34,13	32,44
5639	06.03.2025 14:50	33,25	33,25	32,69	33,38	32,94	35,13	33,25
6239	06.03.2025 15:00	34,19	34	33,56	34,25	33,69	36,06	34,06
6838,9	06.03.2025 15:10	35,06	34,69	34,44	35,06	34,38	36,88	34,81
7438,8	06.03.2025 15:20	35,81	35,31	35,13	35,69	35,06	37,63	35,44
8038,7	06.03.2025 15:30	36,5	35,88	35,81	36,31	35,56	38,31	36
8638,6	06.03.2025 15:40	37,19	36,38	36,38	36,88	36,06	38,94	36,5
9238,5	06.03.2025 15:50	37,81	36,88	36,88	37,38	36,5	39,56	37,13
9838,4	06.03.2025 16:00	38,25	37,19	37,38	37,81	36,88	39,94	37,44
10438,3	06.03.2025 16:10	38,56	37,31	37,56	37,94	36,94	40,13	37,63
11038,1	06.03.2025 16:20	38,81	37,44	37,75	38,06	37,06	40,31	37,75
11638	06.03.2025 16:30	38,94	37,5	37,94	38,13	37,19	40,44	37,81

*Tabulka 24 Agregovaný soubor naměřených dat z teplotních sond*

Po úspěšné agregaci naměřených dat bylo přistoupeno ke statistické analýze. Statistická analýza obsahuje nástroje popsané v předchozí kapitole a její data jsou opět prezentována formou tabulek. V následujících tabulkách č. 25-28 je uveden příklad aplikace statistické analýzy naměřených dat na reprezentativní zkoušce ohřevu.

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Průměrná teplota kolejnice [°C]	Odchylka temp0 [°C]	Odchylka temp1 [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
06.03.2025 13:16	23,11	0,14	- 0,05	0:00:00
06.03.2025 13:20	23,22	0,09	- 0,03	0:03:57
06.03.2025 13:30	24,22	- 0,22	0,09	0:13:58
06.03.2025 13:40	25,53	- 0,47	0,16	0:23:58
06.03.2025 13:50	26,76	- 0,51	0,18	0:33:58
06.03.2025 14:00	27,94	- 0,50	0,12	0:43:58
06.03.2025 14:10	29,06	- 0,50	0,13	0:53:58
06.03.2025 14:20	30,31	- 0,44	0,06	1:03:58
06.03.2025 14:30	31,45	- 0,39	- 0,01	1:13:58
06.03.2025 14:40	32,51	- 0,32	- 0,07	1:23:58
06.03.2025 14:50	33,41	- 0,16	- 0,16	1:33:58
06.03.2025 15:00	34,26	- 0,07	- 0,26	1:43:58
06.03.2025 15:10	35,05	0,01	- 0,36	1:53:58
06.03.2025 15:20	35,72	0,09	- 0,41	2:03:58
06.03.2025 15:30	36,34	0,16	- 0,46	2:13:58
06.03.2025 15:40	36,90	0,29	- 0,52	2:23:57
06.03.2025 15:50	37,45	0,36	- 0,57	2:33:57
06.03.2025 16:00	37,84	0,41	- 0,65	2:43:57
06.03.2025 16:10	38,01	0,55	- 0,70	2:53:57
06.03.2025 16:20	38,17	0,64	- 0,73	3:03:57
06.03.2025 16:30	38,28	0,66	- 0,78	3:13:57

*Tabulka 25 Statistická analýza – průměrná teplota a odchylky od průměrné teploty Ek*

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Odchylka temp2 [°C]	Odchylka temp3 [°C]	Odchylka temp4 [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
06.03.2025 13:16	-0,11	0,08	-0,05	0:00:00
06.03.2025 13:20	-0,10	0,09	-0,03	0:03:57
06.03.2025 13:30	-0,47	0,22	-0,03	0:13:58
06.03.2025 13:40	-0,72	0,28	0,03	0:23:58
06.03.2025 13:50	-0,82	0,24	-0,01	0:33:58
06.03.2025 14:00	-0,82	0,25	-0,07	0:43:58
06.03.2025 14:10	-0,87	0,19	-0,12	0:53:58
06.03.2025 14:20	-0,87	0,13	-0,25	1:03:58
06.03.2025 14:30	-0,83	0,05	-0,26	1:13:58
06.03.2025 14:40	-0,82	0,05	-0,38	1:23:58
06.03.2025 14:50	-0,72	-0,03	-0,47	1:33:58
06.03.2025 15:00	-0,70	-0,01	-0,57	1:43:58
06.03.2025 15:10	-0,61	0,01	-0,67	1:53:58
06.03.2025 15:20	-0,59	-0,03	-0,66	2:03:58
06.03.2025 15:30	-0,53	-0,03	-0,78	2:13:58
06.03.2025 15:40	-0,52	-0,02	-0,84	2:23:57
06.03.2025 15:50	-0,57	-0,07	-0,95	2:33:57
06.03.2025 16:00	-0,46	-0,03	-0,96	2:43:57
06.03.2025 16:10	-0,45	-0,07	-1,07	2:53:57
06.03.2025 16:20	-0,42	-0,11	-1,11	3:03:57
06.03.2025 16:30	-0,34	-0,15	-1,09	3:13:57

*Tabulka 26 Statistická analýza – odchylky od průměrné teploty Ek*

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Odchylka temp5 [°C]	Odchylka temp6 [°C]	Maximální odchylka [°C]	Minimální odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
06.03.2025 13:16	0,01	- 0,05	0,14	- 0,11	0:00:00
06.03.2025 13:20	0,03	- 0,03	0,09	- 0,10	0:03:57
06.03.2025 13:30	0,34	0,09	0,34	- 0,47	0:13:58
06.03.2025 13:40	0,59	0,16	0,59	- 0,72	0:23:58
06.03.2025 13:50	0,80	0,11	0,80	- 0,82	0:33:58
06.03.2025 14:00	0,93	0,06	0,93	- 0,82	0:43:58
06.03.2025 14:10	1,13	0,06	1,13	- 0,87	0:53:58
06.03.2025 14:20	1,38	0,00	1,38	- 0,87	1:03:58
06.03.2025 14:30	1,49	- 0,08	1,49	- 0,83	1:13:58
06.03.2025 14:40	1,62	- 0,07	1,62	- 0,82	1:23:58
06.03.2025 14:50	1,72	- 0,16	1,72	- 0,72	1:33:58
06.03.2025 15:00	1,80	- 0,20	1,80	- 0,70	1:43:58
06.03.2025 15:10	1,83	- 0,24	1,83	- 0,67	1:53:58
06.03.2025 15:20	1,91	- 0,28	1,91	- 0,66	2:03:58
06.03.2025 15:30	1,97	- 0,34	1,97	- 0,78	2:13:58
06.03.2025 15:40	2,04	- 0,40	2,04	- 0,84	2:23:57
06.03.2025 15:50	2,11	- 0,32	2,11	- 0,95	2:33:57
06.03.2025 16:00	2,10	- 0,40	2,10	- 0,96	2:43:57
06.03.2025 16:10	2,12	- 0,38	2,12	- 1,07	2:53:57
06.03.2025 16:20	2,14	- 0,42	2,14	- 1,11	3:03:57
06.03.2025 16:30	2,16	- 0,47	2,16	- 1,09	3:13:57

*Tabulka 27 Statistická analýza – odchylky od průměrné teploty, minimální a maximální odchylka od průměrné teploty Ek*

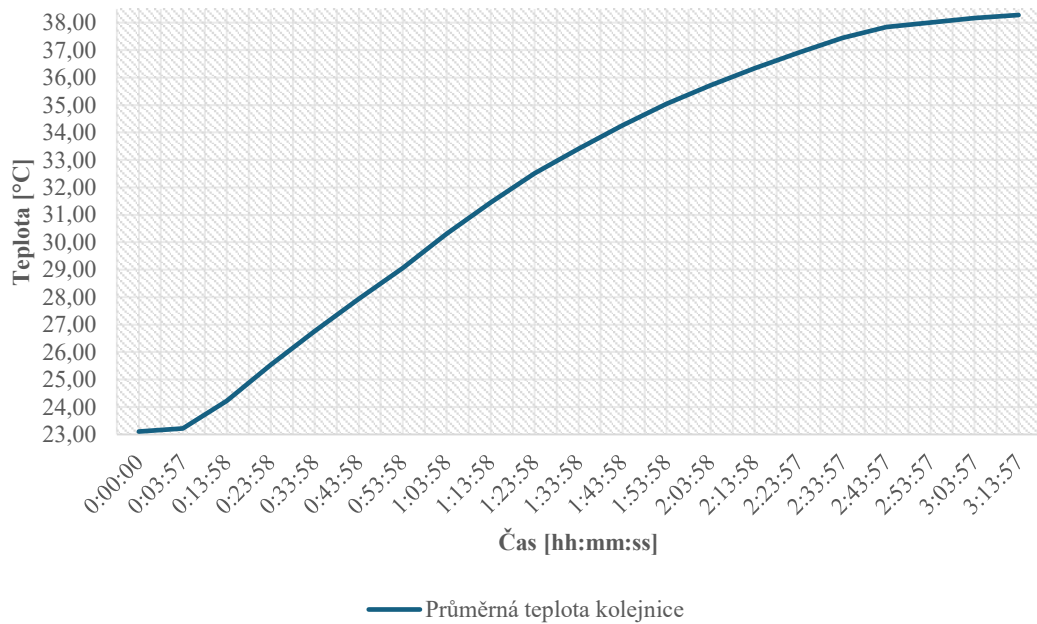
Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Rozpětí odchylek [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Variační koeficient [%]	Mediánová odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
06.03.2025 13:16	<b>0,25</b>	<b>0,087</b>	<b>0,38</b>	<b>0,06</b>	0:00:00
06.03.2025 13:20	<b>0,19</b>	<b>0,070</b>	<b>0,30</b>	<b>0,06</b>	0:03:57
06.03.2025 13:30	<b>0,81</b>	<b>0,274</b>	<b>1,13</b>	<b>0,13</b>	0:13:58
06.03.2025 13:40	<b>1,31</b>	<b>0,451</b>	<b>1,76</b>	<b>0,13</b>	0:23:58
06.03.2025 13:50	<b>1,62</b>	<b>0,528</b>	<b>1,97</b>	<b>0,13</b>	0:33:58
06.03.2025 14:00	<b>1,75</b>	<b>0,559</b>	<b>2,00</b>	<b>0,19</b>	0:43:58
06.03.2025 14:10	<b>2,00</b>	<b>0,626</b>	<b>2,16</b>	<b>0,18</b>	0:53:58
06.03.2025 14:20	<b>2,25</b>	<b>0,700</b>	<b>2,31</b>	<b>0,25</b>	1:03:58
06.03.2025 14:30	<b>2,32</b>	<b>0,723</b>	<b>2,30</b>	<b>0,18</b>	1:13:58
06.03.2025 14:40	<b>2,44</b>	<b>0,770</b>	<b>2,37</b>	<b>0,25</b>	1:23:58
06.03.2025 14:50	<b>2,44</b>	<b>0,793</b>	<b>2,37</b>	<b>0,13</b>	1:33:58
06.03.2025 15:00	<b>2,50</b>	<b>0,833</b>	<b>2,43</b>	<b>0,19</b>	1:43:58
06.03.2025 15:10	<b>2,50</b>	<b>0,852</b>	<b>2,43</b>	<b>0,25</b>	1:53:58
06.03.2025 15:20	<b>2,57</b>	<b>0,884</b>	<b>2,47</b>	<b>0,31</b>	2:03:58
06.03.2025 15:30	<b>2,75</b>	<b>0,924</b>	<b>2,54</b>	<b>0,31</b>	2:13:58
06.03.2025 15:40	<b>2,88</b>	<b>0,971</b>	<b>2,63</b>	<b>0,38</b>	2:23:57
06.03.2025 15:50	<b>3,06</b>	<b>1,020</b>	<b>2,72</b>	<b>0,25</b>	2:33:57
06.03.2025 16:00	<b>3,06</b>	<b>1,024</b>	<b>2,71</b>	<b>0,37</b>	2:43:57
06.03.2025 16:10	<b>3,19</b>	<b>1,063</b>	<b>2,80</b>	<b>0,32</b>	2:53:57
06.03.2025 16:20	<b>3,25</b>	<b>1,089</b>	<b>2,85</b>	<b>0,31</b>	3:03:57
06.03.2025 16:30	<b>3,25</b>	<b>1,100</b>	<b>2,87</b>	<b>0,44</b>	3:13:57

*Tabulka 28 Statistická analýza – rozpětí odchylek od průměrné teploty, směrodatná odchylka, variační koeficient a mediánová odchylka*

Poslední uvedená tabulka č. 28 obsahuje dopočítané údaje hlavních nástrojů statistické analýzy pro jednotlivé odečty teploty agregovaného souboru teplotních dat, a to rozpětí odchylek, směrodatnou odchylku, variační koeficient a mediánovou odchylku.

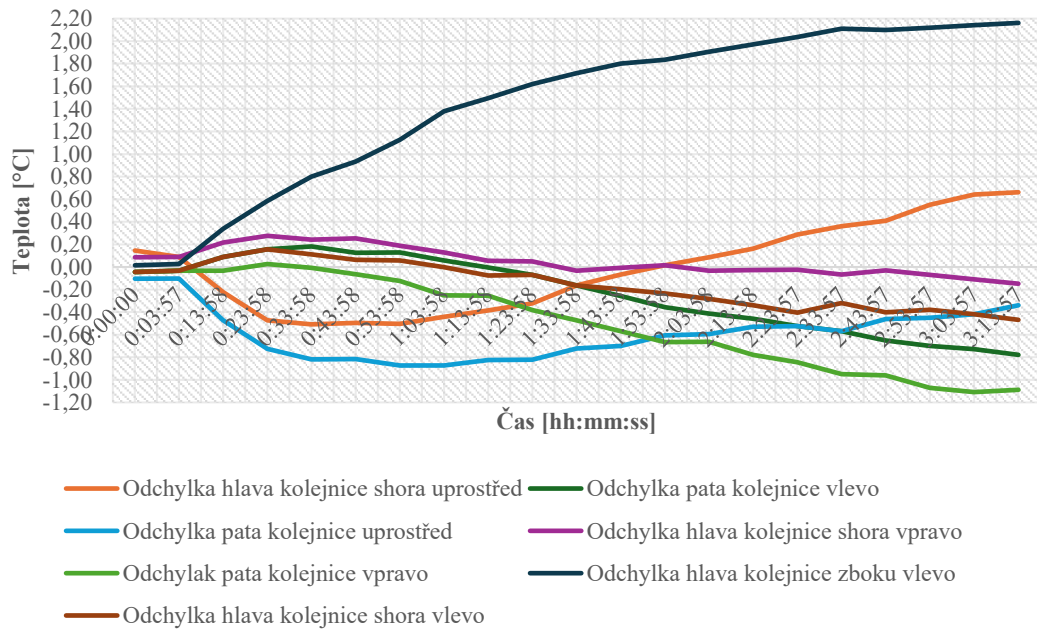
Dále následuje grafická interpretace zpracovaných údajů ze statistické analýzy. V grafech č.48, 49 a 50 je zaznamenán vývoj průměrné teploty kolejnice v čase, vývoj teplotních odchylek na jednotlivých měřicích místech Ek od průměrné teploty kolejnice v čase a vývoj hlavních posuzovaných nástrojů statistické analýzy v čase.

**Zkouška ohřevu kolejnice 6.3.2025 (Napět'ová regulace boční 45 V; horní 25 V), otočená tělesa, vzdálenost od středu 110 mm**



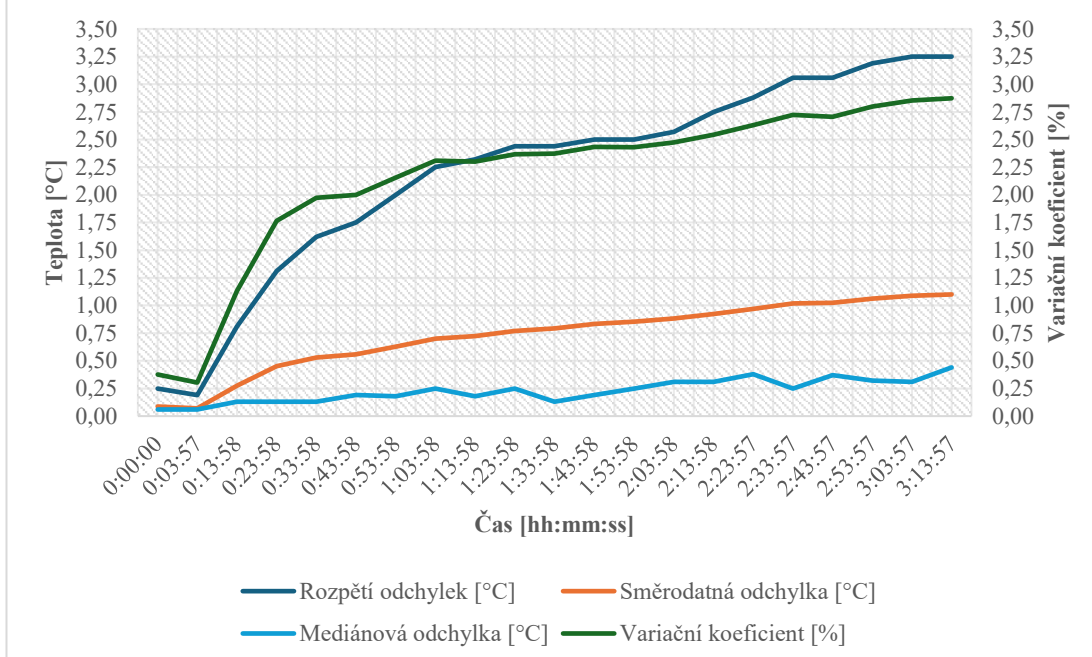
Graf 48 Průměrná teplota Ek z agregovaného souboru dat z teplotních sond

**Zkouška ohřevu kolejnice 6.3.2025 (Napět'ová regulace boční 45 V; horní 25 V), otočená tělesa, vzdálenost od středu 110 mm**



Graf 49 Odchylky od průměrné teploty Ek jednotlivých měřicích míst

**Zkouška ohřevu kolejnice 6.3.2025 (Napět'ová regulace boční 45 V; horní 25 V), otočená tělesa, vzdálenost od středu 110 mm**



*Graf 50 Statistická analýza – rozpětí odchylek, směrodatná odchylka, variační koeficient, mediánová odchylka*

Závěrečné vyhodnocení každé zkoušky ohřevu je poté interpretováno čtyřmi hodnotami nástrojů statistické analýzy. Jedná se o aritmetický průměr hodnot rozpětí odchylek, aritmetický průměr hodnot směrodatných odchylek, aritmetický průměr hodnot variačního koeficientu a medián hodnot mediánových odchylek, které znázorňuje tabulka č. 29.

Průměrné rozpětí odchylek [°C]:	2,209
Průměrná směrodatná odchylka [°C]:	0,731
Průměrný variační koeficient [%]:	2,168
Medián medianových odchylek [°C]:	0,250

*Tabulka 29 Závěrečné vyhodnocení statistické analýzy*

K této metodě bylo přistoupeno z důvodu potřeby co nejmenšího počtu hodnot, kterými bylo možné vyjádřit rovnoměrnost ohřevu dané zkoušky a zároveň bylo možné díky těmto hodnotám jednotlivé zkoušky ohřevu mezi sebou porovnat a vybrat tak zkoušku s nejvhodnější kombinací nastavení soustavy ohřevu a regulace napětí.

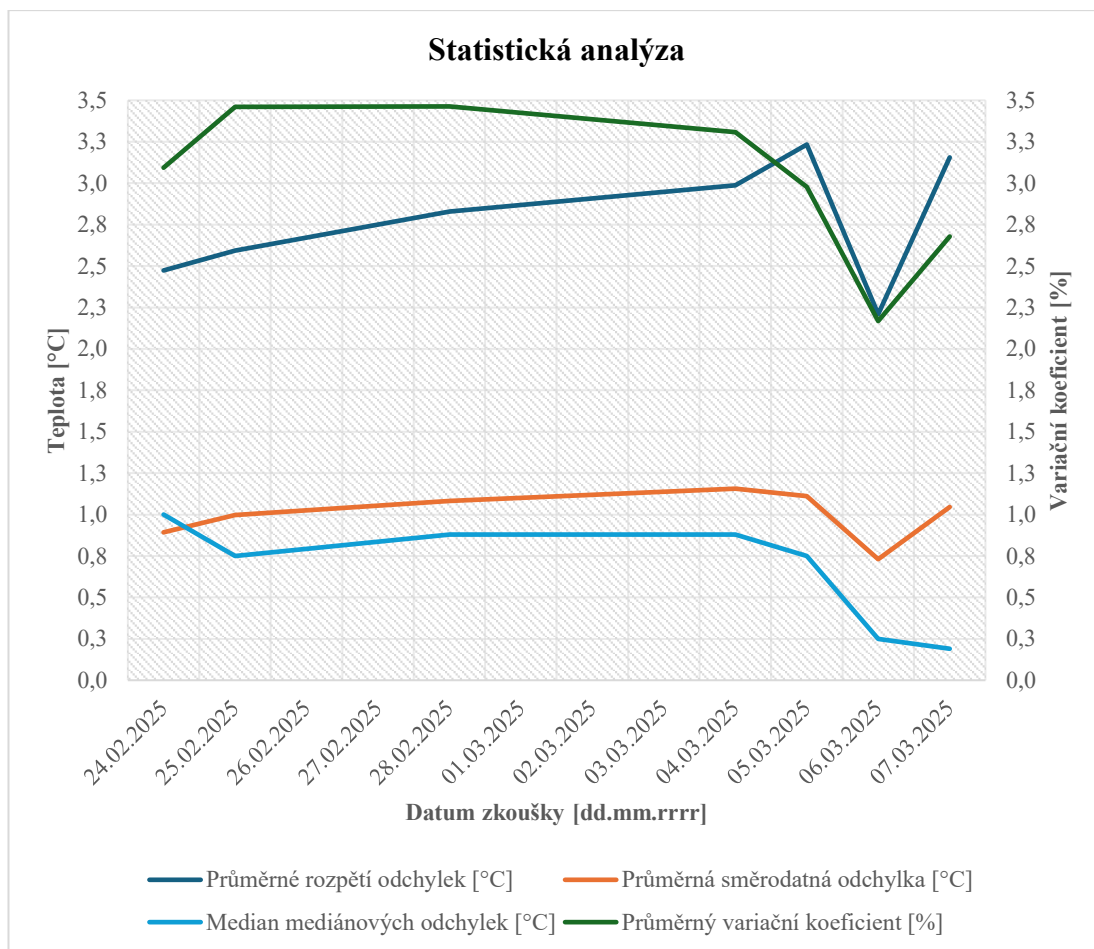
#### 4.6.9.4. Vyhodnocení

Tato kapitola obsahuje data závěrečného vyhodnocení statistické analýzy všech zkoušek ohřevu, následné srovnání a výběr zkoušky s nejrovnoměrnějším ohřevem, a tedy i nejvhodněji zvoleným nastavením soustavy ohřevu, což znázorňuje tabulka č.30.

Statistická analýza				
Datum zkoušky:	Průměrné rozpětí odchylek [°C]:	Průměrná směrodatná odchylka [°C]:	Průměrný variační koeficient [%]:	Median medianových odchylek [°C]:
24.02.2025	2,474	0,892	3,093	1,000
25.02.2025	2,593	0,998	3,459	0,750
28.02.2025	2,829	1,082	3,463	0,880
04.03.2025	2,988	1,156	3,309	0,880
05.03.2025	3,233	1,111	2,978	0,750
06.03.2025	2,209	0,731	2,168	0,250
07.03.2025	3,155	1,045	2,678	0,190

*Tabulka 30 Závěrečné vyhodnocení statistické analýzy všech zkoušek ohřevu*

Následuje grafická interpretace závěrečného vyhodnocení statistické analýzy všech zkoušek ohřevu. Na grafu č. 51 lze vidět závěrečné vyhodnocení statistické analýzy všech zkoušek ohřevu.



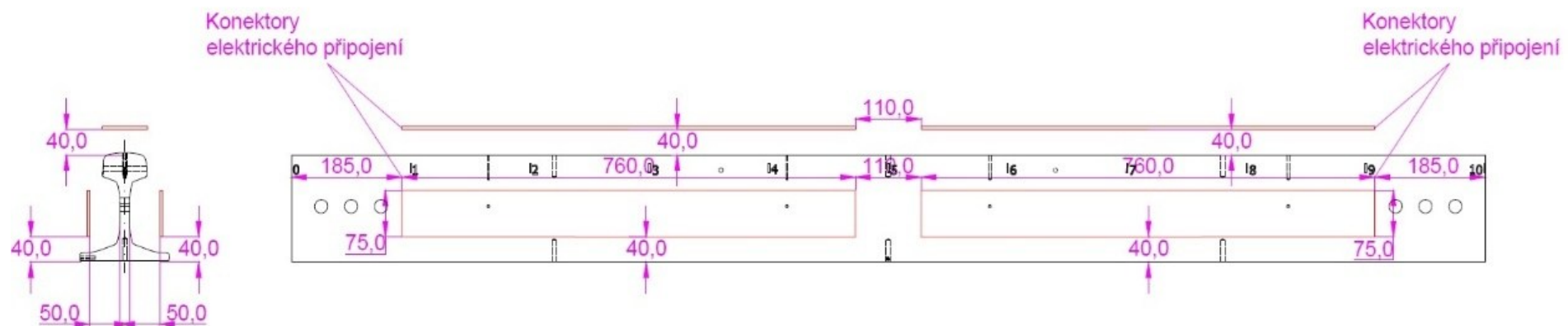
*Graf 51 Závěrečné vyhodnocení statistické analýzy všech zkoušek ohřevu*

Tabulka výše obsahuje data statistické analýzy všech zkoušek ohřevu, u kterých měření teploty probíhalo sestavou teplotních sond. Na základě těchto dat lze jednotlivé zkoušky mezi sebou porovnat a vybrat zkoušku s nejrovnoměrnejším ohřevem Ek.

Nejvíce rovnoměrný ohřev vykazuje ta zkouška, která v porovnání s ostatními vykazuje nejnižší hodnoty nástrojů statistické analýzy. Nejnižší hodnotu průměrného rozpětí odchylek s hodnotou 2,209 °C, průměrné směrodatné odchylky s hodnotou 0,731 °C, průměrného variačního koeficientu s hodnotou 2,168 % zkouška ohřevu z 6.3.2025, viz příloha 34. Na základě těchto výsledků byl ohřev Ek při průběhu této zkoušky zvolen za nejvíce rovnoměrný, i přesto, že median mediánových odchylek nabývá nejnižší hodnoty u zkoušky ohřevu z 7.3.2025 viz příloha 35.

Pro účely experimentu na dynamickém zkušebním stavu je z uvedených způsobů a nastavení ohřevu Ek nejvhodnější variantou konfigurace použita při zkoušce ohřevu z 6.3.2025, viz příloha 34.

Jedná se tedy o konfiguraci, kde byla topná tělesa umístěna na Ek tak, že jsou otočena konektory elektrického připojení směrem ke koncům kolejnice. Vzdálenost konců topných těles od sebe v oblasti středu Ek byla 110 mm. Vzdálenost dvojice horních topných těles umístěných nad hlavou Ek byla 40 mm od povrchu. Vzdálenost čtyř topných těles umístěných na bocích Ek od stojiny kolejnice byla 50 mm. Zároveň vzdálenost těchto čtyř bočních těles od paty kolejnice byla snížena na co nejmenší hodnotu, kterou dovolovalo uchycení topných těles a to bylo 40 mm. Podrobně znázorněné rozmístění topných těles této konfigurace je znázorněno na obrázku č.41.



Obrázek 41 Optimální umístění topných těles na Ek

Optimální nastavení regulátorů napětí bylo 25 V pro horní dvojici topných těles a 45 V pro dvě boční dvojice topných těles.

#### 4.7. Instalace tenzometrů

V rámci přípravy experimentu na dynamickém zkušebním stavu následovala po výběru vhodného způsobu ohřevu Ek instalace tenzometrů. Ta zahrnovala výběr vhodných rezistančních tenzometrů, výběr vhodného zapojení tenzometrů do Wheatstoneova můstku, výběr vhodného umístění tenzometrů na Ek a přípravu Ek k osazení tenzometrů.

##### 4.7.1. Výběr rezistančních tenzometrů a jejich zapojení

Experiment kromě jiného zahrnoval porovnání výsledků měření z rezistančních tenzometrů se zabudovanou vnitřní teplotní samokompensací a tenzometrů, které tuto samokompensaci nemají, nebo je u nich zanedbatelná. Z této skutečnosti vyplýval požadavek na dva základní druhy rezistančních tenzometrů lišící se právě ve zmíněné teplotní samokompensaci.

Ze zásob na VVCD Doubravice byly vybrány dva druhy rezistančních tenzometrů od výrobce Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH. odpovídající požadavkům na k-faktor, který musí odpovídat použití na kolejnicové oceli, a zároveň již zmíněné teplotní samokompensaci.

Typ tenzometru	6/350 VLY41-4L-5M	6/350 CLY46-4L-5MS
Druh tenzometru	S teplotní samokompensací	Bez teplotní samokompensace
Počáteční elektrický odpor tenzometru $R_0$ [ $\Omega$ ] $\pm 0,35$ %	350	350
Citlivost tenzometru (k-Faktor) [-] $\pm 1,0$ %	2,08	2,07
Teplotní samokompensace tenzometru $\alpha$ [ $10^{-6}/K$ ]	10,8	0,5

Tabulka 31 Vlastnosti vybraných tenzometrů pro účely experimentu

Z tabulky č. 31 jsou patrné důležité specifikace a vlastnosti vybraných tenzometrů pro účely experimentu.

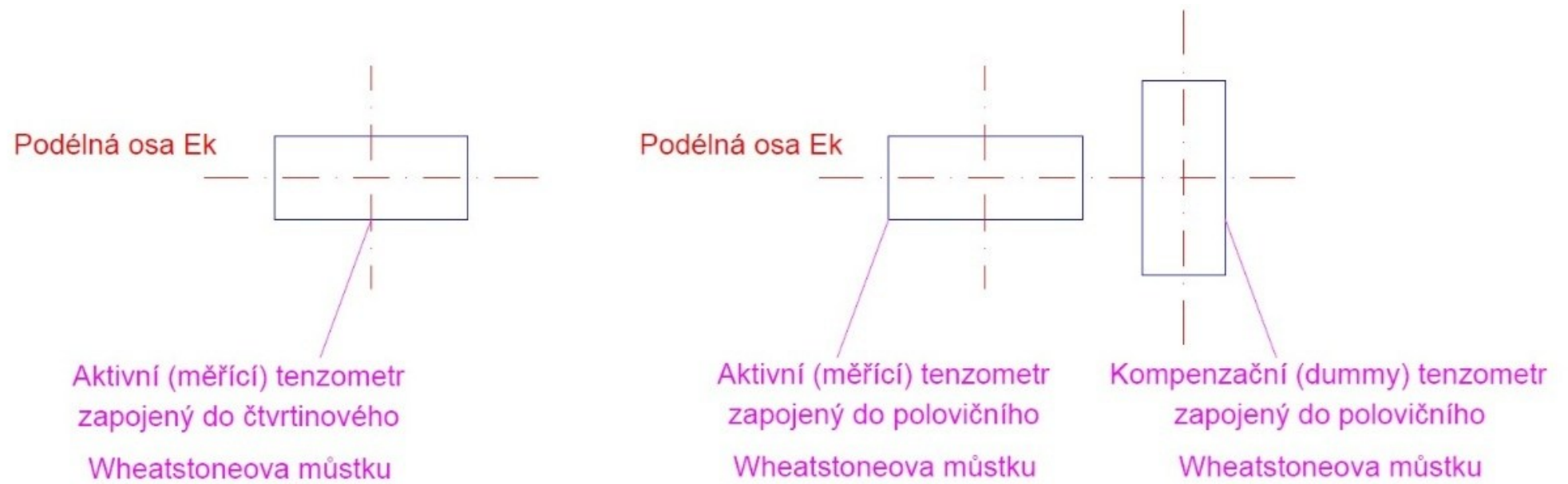
Kromě výběru vhodných tenzometrů bylo zapotřebí také správně zvolit jejich zapojení do Wheatstoneova můstku je podrobně rozebráno v kapitole 2.2.4. Na základě předchozích provedených terénních měření byly zvoleny dva způsoby zapojení do Wheatstoneova můstku, jejichž výsledky byly mezi sebou srovnávány. Jednalo se o zapojení do čtvrtinového můstku a polovičního můstku. Podrobnější specifikace těchto dvou způsobů zapojení jsou dostupné v teorii kapitola 2.2.4.1. a 2.2.4.3

#### **4.7.2. Umístění tenzometrů na Ek**

Po rozvaze nad správným výběrem druhů rezistančních tenzometrů a jejich způsobů zapojení do Wheatstoneova můstku následovalo určení celkového počtu použitých tenzometrů a následný výběr umístění všech tenzometrů na Ek.

Při výběru vhodného umístění tenzometrů na Ek bylo dbáno na několik důležitých zásad.

Rozmístění tenzometrů zapojených jak do čtvrtinového, tak do polovičního Wheatstoneova můstku na Ek bylo navrženo s respektem ke konvenci při měření tahu a tlaku, jak je uvedeno v teorii na obrázku č. 3 a 4. Při zapojení do čtvrtinového můstku se jedná o umístění tenzometru podélně ve směru podélné osy Ek. Při zapojení do polovičního můstku se jedná o umístění aktivního (měřicího) tenzometru podélně ve směru podélné osy Ek a kompenzačního tenzometru příčně ve směru podélné osy Ek do blízkosti aktivního tenzometru tak, aby se příčná osa kompenzačního tenzometru shodovala s podélnou osou aktivního tenzometru, jak je zřetelné z obrázku č. 42.



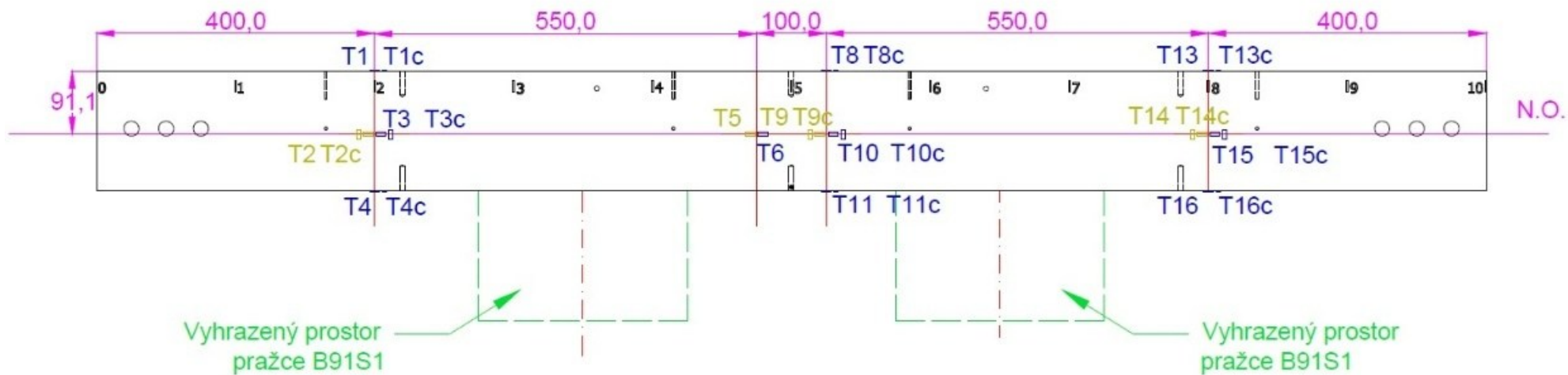
Obrázek 42 Detail umístění tenzometrů s různým zapojením

Dále veškeré tenzometry na stojině Ek jsou umístěny do její neutrální osy pro případné odfiltrování vlivů ohybu, a zároveň tohle umístění odpovídá umístění použitým při terénních měřeních je podrobně rozebráno v kapitole 3.1. Zároveň veškeré tenzometry umístěné na hlavě, nebo patě Ek jsou vždy umístěny do podélné osy Ek.

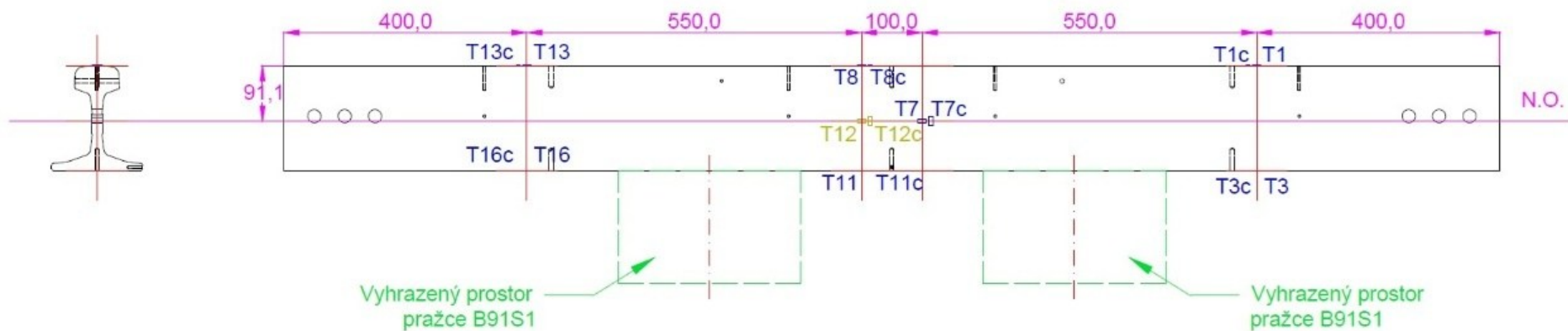
Důvodem k rozmístění tenzometrů na hlavě, patě a z obou stran stojiny Ek je zachycení případných nežádoucích účinků ohybu způsobených například rozdíly v rovnoměrnosti ohřevu Ek.

Rozmístění tenzometrů do čtyřech měřících profilů po délce Ek odpovídá potřebě zachytit chování Ek při vzrůstajícím mechanickém napětí od teplotního zatížení po celé její délce. Z toho důvodu jsou dva měřící profily umístěny blíže středu Ek a zbylé dva měřící profily jsou umístěny blíže koncům. Při výběru konkrétního umístění měřících profilů po délce Ek bylo zapotřebí brát zřetel na již provedené úpravy Ek. Na umístění kolejnicových podpor, či součástí měřící sestavy zajišťující oboustranné vetknutí Ek tak, aby nedošlo k jejich konfliktu s umístěnými tenzometry.

Pro účely experimentu bylo důležité zajistit srovnání mezi vybranými druhy tenzometrů a jejich způsoby zapojení. V kontextu umístění tenzometrů na Ek to znamenalo, že stojina Ek na straně, kde je vyznačení měřících profilů fixou viz. kapitola 4.1.2.1. Byla zvolena jako hlavní pro zmíněné srovnání. Na této straně stojiny Ek byly do čtyřech měřících profilů umístěny vždy dva tenzometry různého druhu, a stejného způsobu zapojení co nejbližší k sobě, aby bylo možné jejich vzájemné srovnání. Podrobné umístění tenzometrů na Ek je znázorněno na obrázcích č. 43 a 44.



Obrázek 43 Schéma umístění tenzometrů 1



Obrázek 44 Schéma umístění tenzometrů 2

K obrázkům znázorňujícím umístění tenzometrů na Ek výše náleží ještě tabulka č. 32 s podrobným rozpisem konkrétního umístění jednotlivých tenzometrů a jejich podrobných specifikací.

*Značení tenzometru	Druh tenzometru	Odpor tenzometru [ $\Omega$ ] $\pm 0,35\%$	Citlivost tenzometru (k-Faktor) [-] $\pm$ -] $\pm$	Teplotní samo kompenzace tenzometru $\alpha$ [ $10^{-6}/K$ ]	Zapojení tenzometru	Úloha tenzometru v zapojení
T1	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Měření
T1c	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Kompenzace
T2	Bez samokompenzace	350	2,07	0,5	Poloviční most	Měření
T2c	Bez samokompenzace	350	2,07	0,5	Poloviční most	Kompenzace
T3	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Měření
T3c	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Kompenzace
T4	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Měření
T4c	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Kompenzace
T5	Bez samokompenzace	350	2,07	0,5	Čtvrtinový most	Měření
T6	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Čtvrtinový most	Měření
T7	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Měření
T7c	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Kompenzace
T8	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Měření
T8c	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Kompenzace
T9	Bez samokompenzace	350	2,07	0,5	Poloviční most	Měření
T9c	Bez samokompenzace	350	2,07	0,5	Poloviční most	Kompenzace
T10	Bez samokompenzace	350	2,08	10,8	Poloviční most	Měření
T10c	Bez samokompenzace	350	2,08	10,8	Poloviční most	Kompenzace
T11	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Měření
T11c	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Kompenzace
T12	Bez samokompenzace	350	2,07	0,5	Poloviční most	Měření

Značení tenzometru	Druh tenzometru	Odpor tenzometru [ $\Omega$ ] $\pm 0,35\%$	Citlivost tenzometru (k-Faktor) [-] $\pm$ -] $\pm$	Teplotní samo Kompenzace tenzometru $\alpha$ [ $10^{-6}/K$ ]	Zapojení tenzometru	Úloha tenzometru v zapojení
T12c	Bez samokompence	350	2,07	0,5	Poloviční most	Kompence
T13	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Měření
T13c	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Kompence
T14	Bez samokompence	350	2,07	0,5	Poloviční most	Měření
T14c	Bez samokompence	350	2,07	0,5	Poloviční most	Kompence
T15	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Měření
T15c	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Kompence
T16	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Měření
T16c	Samokompenzační	350	2,08	10,8	Poloviční most	Kompence

*Tabulka 32 Podrobný rozpis všech použitých tenzometrů*

### 4.7.3. Příprava Ek pro osazení tenzometrů

Po určení konkrétního umístění tenzometrů na Ek následovala její příprava na osazení tenzometrů. Ta spočívala především v přípravě povrchu Ek, který musel být v místech osazení tenzometrů a blízkém okolí obroušený a hladký, aby tenzometry pomocí lepidla dokonale přilnuly k povrchu kolejnice.

Nejprve proběhlo hrubé vyznačení konkrétních míst osazení permanentní fixou. Následovalo broušení nejprve pomocí úhlové brusky s brusným kotoučem. Poté pomocí několika brusných papírů o různé hrubosti. Pokračovalo se přesným rozměřením a následným vyznačením lihovou fixou všech míst pro osazení tenzometrů. Před přistoupením k samotnému lepení tenzometrů byl povrch Ek očištěn a odmaštěn technickým benzinem. Přípravy jsou znázorněny na obrázcích č. 45–48.



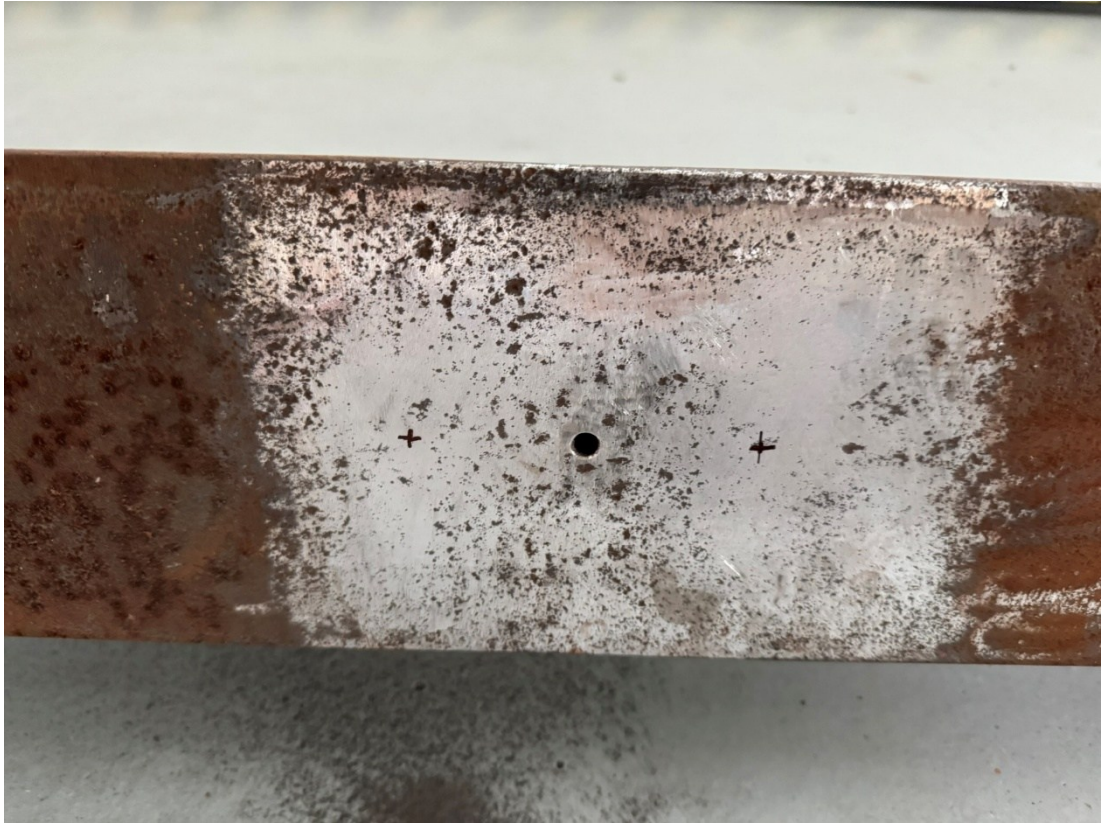
*Obrázek 45 Příprava povrchu Ek pro osazení tenzometrů*



*Obrázek 46 Příprava povrchu Ek pro osazení tenzometrů – hlava kolejnice*



*Obrázek 47 Příprava povrchu Ek pro osazení tenzometrů – stojina kolejnice*



*Obrázek 48 Příprava povrchu Ek pro osazení tenzometrů – pata kolejnice*

## **4.8. Příprava experimentální sestavy**

Příprava experimentální sestavy na dynamickém zkušebním stavu spočívala ve vymezení všech jejích částí a následném návrhu sestavy upevnění. Dále příprava pokračovala zhotovením 3D modelu experimentální sestavy v softwaru Autodesk Inventor Professional 2025. Poté byly vypracovány výkresy chybějících součástí sestavy upevnění, které byly následně použity jako podklady pro výrobu těchto součástí.

### **4.8.1. Hlavní části experimentální sestavy**

V této podkapitole budou představeny a stručně popsány hlavní části experimentální sestavy, tak, jak vyplynuly z kritérií návrhu.

**Upínací deska s T-drážkami** je součástí dynamického zkušebního stavu v prostorách VVCD Doubravice. Rozsáhlé upínací pole tvoří v těchto prostorách část podlahy a umožňuje upnutí velkého množství příslušenství a komponent pomocí T-drážek.

**Zarážky** pro realizaci svislé opory zkušební sestavy. Jednalo se o okrajové součásti experimentální sestavy, které spojovaly upínací desku s ostatními součástmi. Svoji tuhostí se podílí na zajištění oboustranného vetknutí Ek. Na straně, kde byla Ek pouze pevně vetknuta, se nacházela systémová zarážka Inova. Na opačné straně Ek, kde se v rámci vetknutí nacházelo kloubové připojení k hydromotoru Inova AH200-200 M061 bylo spojení s upínací deskou realizováno pomocí dvojice menších zarážek.

**Čelní desky** navazovaly z obou stran na zarážky, se kterými jsou pevně spojeny šroubovými spoji. Na straně hydromotoru tvořila čelní deska uložení pro již zmíněný hydromotor pomocí šroubových spojů.

**Sestava upevnění** tvořila na jedné straně přechod mezi čelní deskou a Ek. Na straně druhé tvořila přechod mezi pístem hydromotoru přes dvojitý kloub realizovaný čepovými spoji na Ek. Jednalo se o ocelové pásoviny a svařence specifických tvarů, které byly k sobě připojeny pomocí šroubových spojů.

**Pražce B91S** simulovaly reálné podmínky na železniční trati. Byly pevně spojeny s upínací deskou dynamického zkušebního stavu pomocí navrženého upevnění kombinující vždy dvě tyče a U profil. Zmíněné upevnění bylo aplikováno vždy na třech místech po délce každého z pražců. Celkově experimentální sestava zahrnovala dva pražce. Jejich osová vzdálenost byla 600 mm. Pražce B91S v rámci svojí geometrie zahrnují úklon kolejnice. Sestava upevnění byla navržena tak, že počítala s uchycením experimentální kolejnice bez jakéhokoliv pootočení kolem podélné osy, tedy s nulovým úklonem. Úklon pražců se z toho důvodu musel kompenzovat jejich příčným pootočením. Toho bylo dosaženo v rámci jejich uložení a uchycení k upínací desce dynamického zkušebního stavu. Na jedné straně byly pražce v konkrétním místě vypodloženy pomocí U profilu.

**Experimentální kolejnice** přímo navazuje na sestavu upevnění. Kromě ní je Ek ještě spojena s upínací deskou dynamického zkušebního stavu dvojicí pražců B91S v rámci přímého bezpodkladnicového upínacího systému Vossloh W14.

**Soustava ohřevu pomocí odporových topných těles** umožňovala tepelné namáhání experimentální kolejnice pomocí šestice topných těles. Tato tělesa byla k Ek připojena pomocí navrženého systému elektricky izolovaného uchycení. Kromě uchycení tato soustava zahrnovala elektrické zapojení a regulaci výkonu topných těles pomocí trojice regulátorů napětí.

**Sestava teplotních sond DS18B20** umožňovala sledování a kontinuální záznam teploty Ek na několika specifických místech v reálném čase. Teplotní sondy byly umístěny uvnitř materiálu Ek, což zajišťovalo přesné a stabilní informace o skutečné teplotě materiálu Ek.

#### 4.8.2. Návrh sestavy upevnění

Návrh sestavy upevnění musel zohledňovat několik zásadních požadavků. Hlavním požadavkem byla potřeba co možná nejužší konstrukce všech součástí sestavy upevnění, která byla schopna zajistit oboustranné vetknutí kolejnice bez možnosti jakékoliv teplotní dilatace.

Dále bylo nutné, aby se veškeré konstrukční části sestavy upevnění pohybovaly v elastické oblasti chování materiálu při působení maximálního zatížení, jaké se může na zkušební sestavě vyskytnout. Bylo tedy zapotřebí staticky posoudit veškeré kritické části sestavy upevnění. Jednalo se především o posouzení šroubových spojů kategorie A, tedy na smyk a otačení. Posouzení všech kritických míst zkušební sestavy jsou dostupná v příloze 37.

Výše zmíněné maximální zatížení je dáno maximální silou, jakou je schopen vygenerovat, nebo zadržet použitý hydromotor dynamického zkušebního stavu Inova AH200-200 M061. Maximální síla zvoleného hydromotoru činí 200 kN.

Na straně uchycení pístu hydromotoru je v sestavě upevnění integrováno dvojité kloubové uložení. Toto uložení je realizováno dvojicí pásovin, které jsou na svých koncích spojeny s ostatními součástmi sestavy pomocí čepových spojů. Kloubové uložení je nezbytné z důvodu možného výskytu příčných složek síly během namáhání experimentální sestavy. Tyto příčné síly mohou vznikat například v důsledku geometrických nepřesností sestavy, kdy podélná síla nepůsobí přesně v ose všech prvků. Vzhledem ke složitosti celého systému je výskyt takových sil velmi pravděpodobný. Jejich eliminace prostřednictvím kloubového uložení je klíčová zejména pro ochranu pístu hydromotoru, který snese pouze omezené zatížení mimo svou podélnou osu. Překročení této meze by mohlo vést k jeho poškození.

Při návrhu součástí sestavy upevnění bylo také zapotřebí zohlednit dostupnost materiálu v areálu VVCD Doubravice. Především bylo nutné zvážit možnosti použití již vyrobených součástí nejlépe napřímo, nebo s co možná nejmenšími úpravami.

### **4.8.3. Výroba součástí sestavy upevnění**

V rámci návrhu sestavy upevnění se jednotlivé součásti rozdělily do tří kategorií. První kategorie zahrnovala součásti dostupné v areálu VVCD Doubravice, které bylo možné v sestavě upevnění použít bez jakýchkoliv úprav. To znamená, že se v tomto případě návrh sestavy přizpůsobil těmto součástem. Pro tyto součásti nebylo třeba zpracovávat výrobní dokumentaci, a tak jsou jejich rozměry a použití dokumentované pouze prostřednictvím 3D modelu.

Druhá kategorie zahrnovala součásti dostupné v areálu VVCD Doubravice, avšak jejich použití v sestavě upevnění bylo podmíněno provedením potřebných úprav. Úpravy zahrnovaly především vrtání nových otvorů, nebo rozměrové úpravy řezáním, broušením či svařováním. K provedení těchto úprav již bylo zapotřebí zhotovit výrobní dokumentaci, která je dostupná v příloze č. 38.

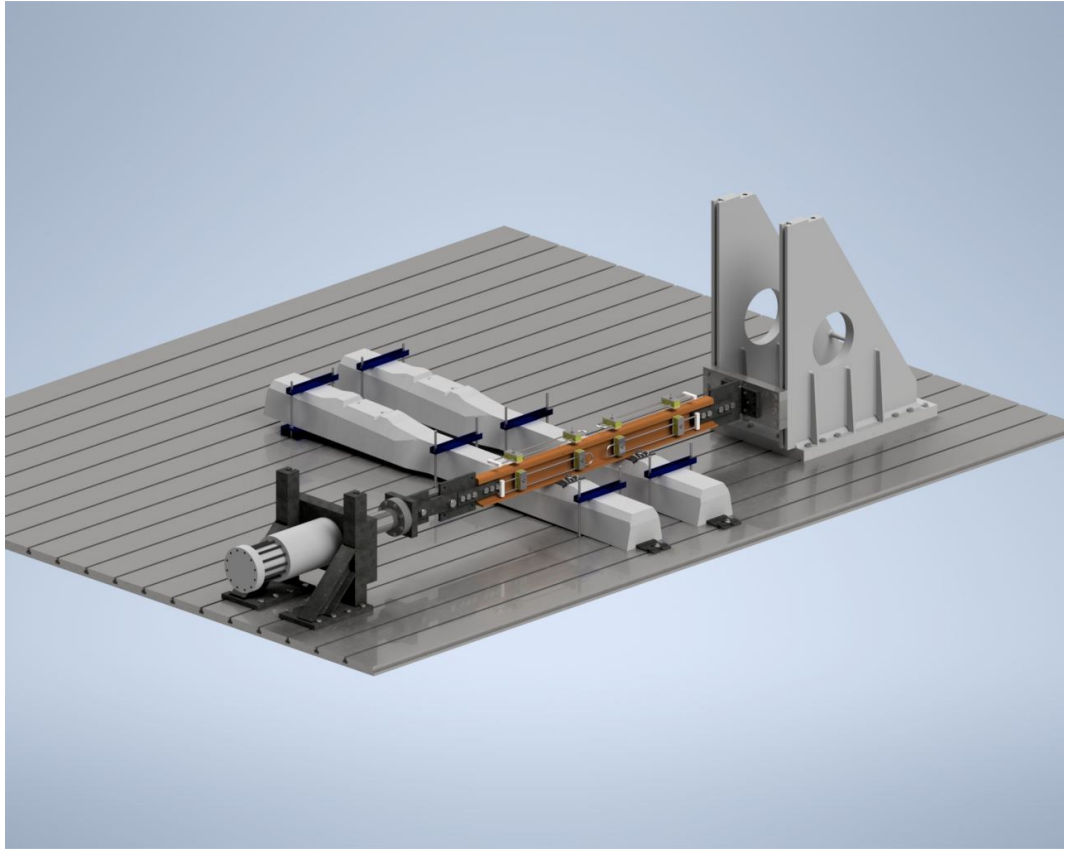
Třetí kategorie obsahovala součásti, které nebyly dostupné v areálu VVCD Doubravice, bylo nutné objednat materiál a dané součásti vyrobit. K těmto součástem bylo zapotřebí zhotovit výrobní dokumentaci, která je dostupná v příloze č.38.

### **4.8.4. 3D model experimentální sestavy**

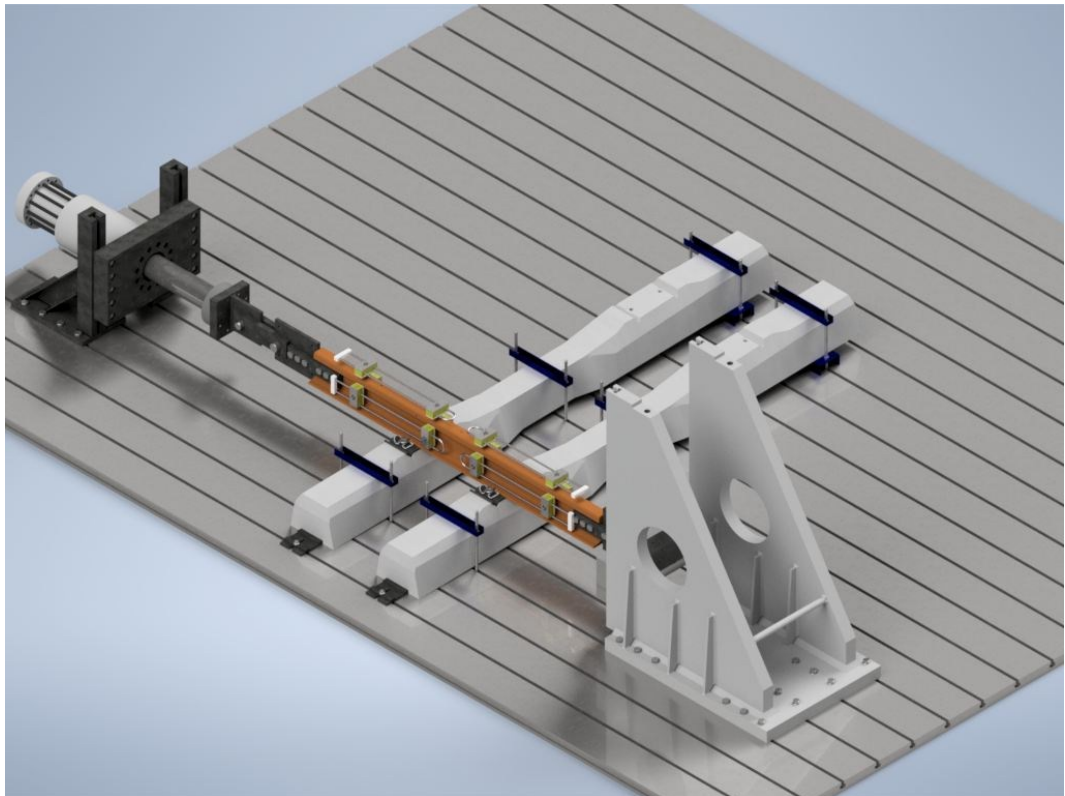
K sestavení 3D modelu experimentální sestavy v softwaru Autodesk Inventor Professional 2025 vedlo několik důvodů. Především se jednalo o ověření, zda v sestaveném stavu nejsou jednotlivé součásti experimentální sestavy v kolizních vztazích.

Dále bylo možné 3D modely geometricky složitějších součástí exportovat do softwaru Autodesk Autocad 2025, kde posloužily jako podklad pro tvorbu 2D dokumentace. Díky tomu bylo možné tyto součásti jednoduše vykreslit v různých pohledech včetně těch axonometrických.

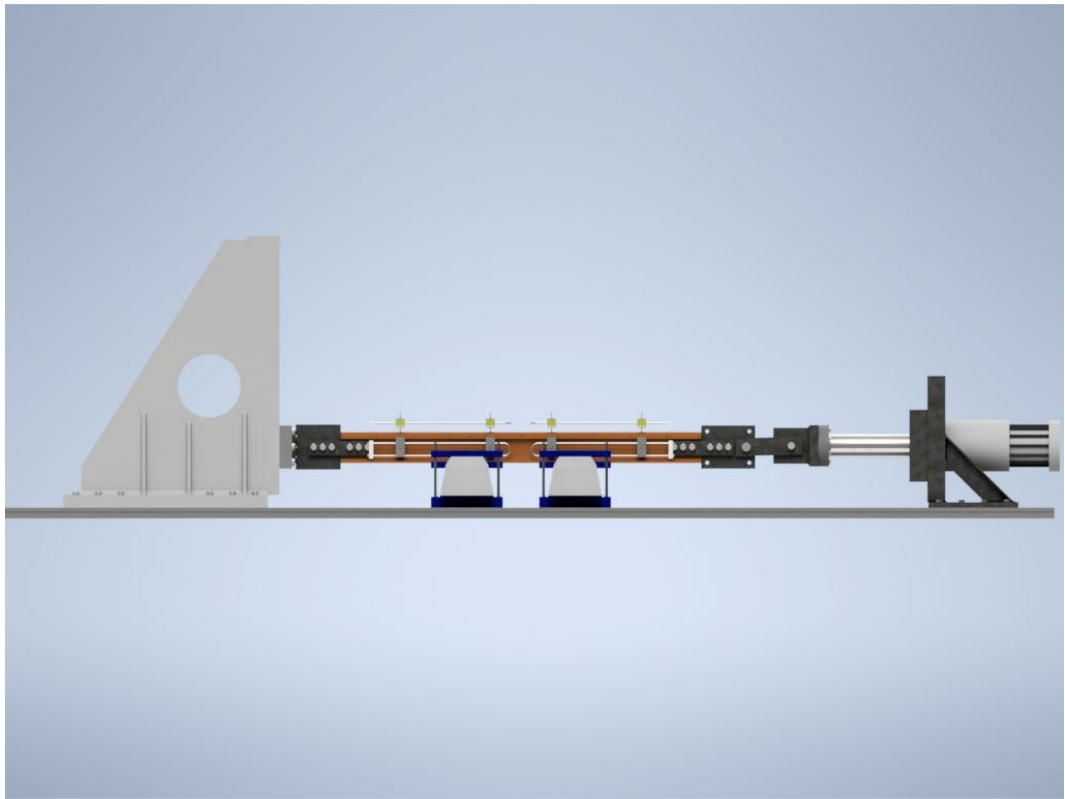
Zásadní však bylo vytvoření náhledů, které dotvářejí ucelený obraz na celou experimentální sestavu a všechny její části. Náhledy jsou k dispozici na obrázcích 49–54 a poté v příloze č. 39.



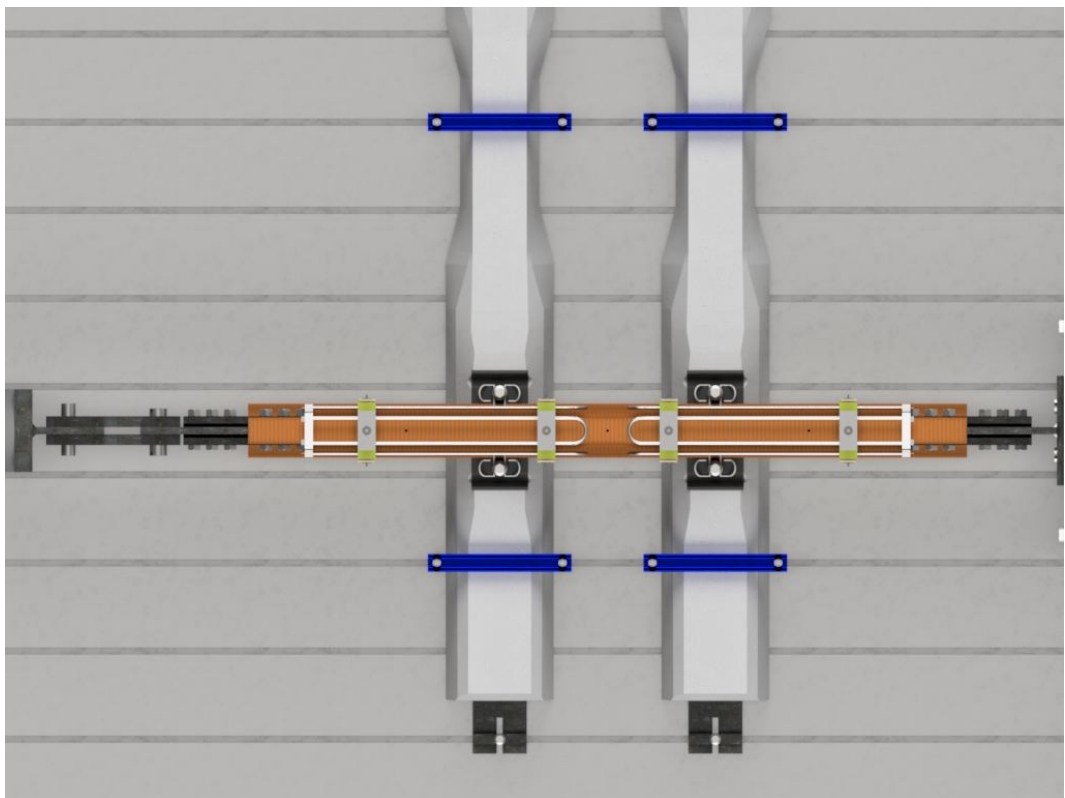
*Obrázek 49 3D model – pohled na kompletní experimentální sestavu 1*



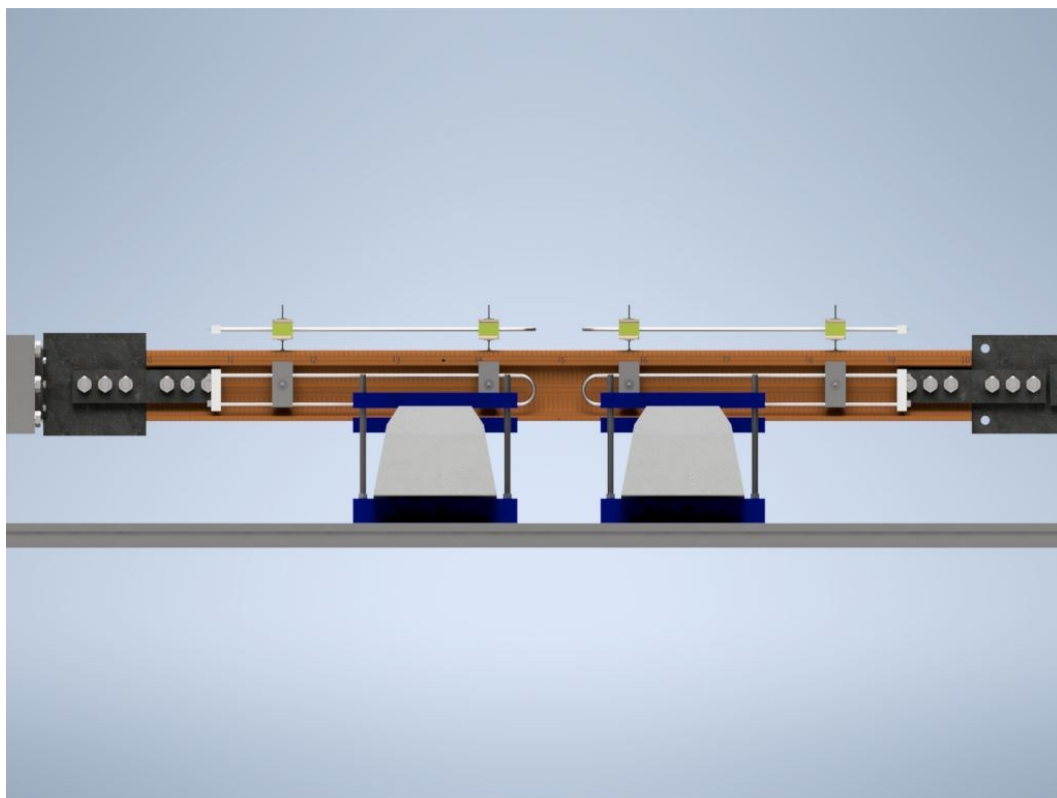
*Obrázek 50 3D model – pohled na kompletní experimentální sestavu 2*



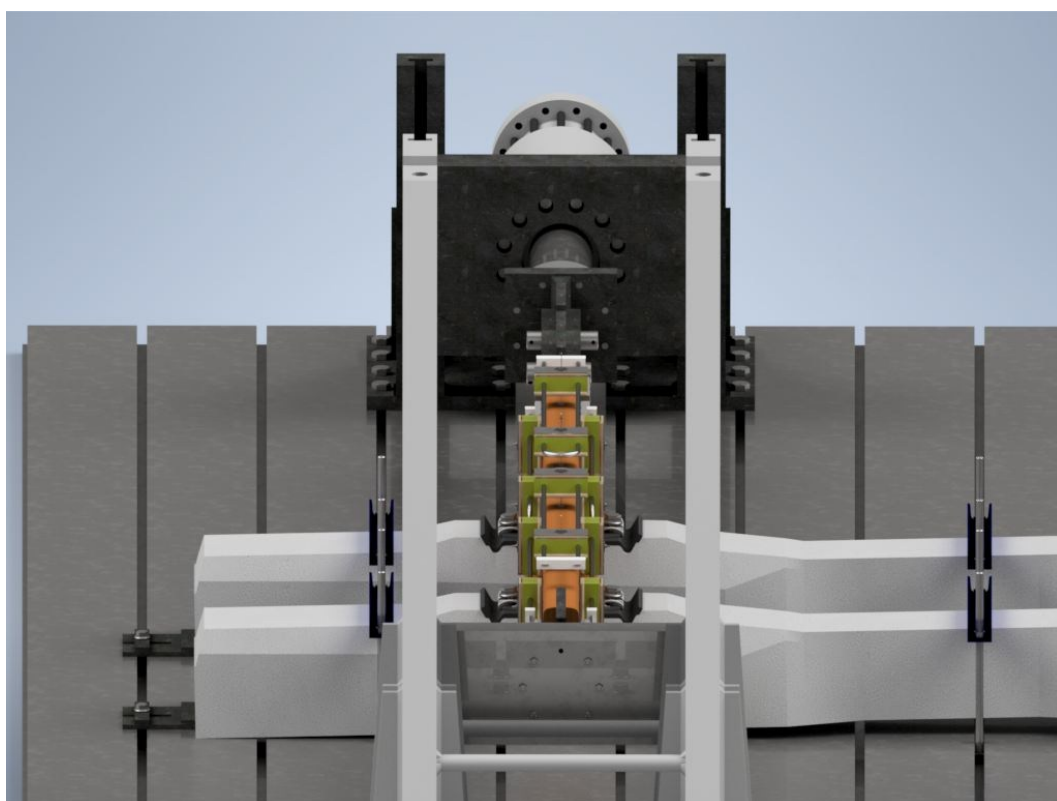
*Obrázek 51 3D model – pohled na kompletní experimentální sestavu 3*



*Obrázek 52 3D model – pohled na uchycení experimentální kolejnice 1*



*Obrázek 53 3D model – pohled na uchycení experimentální kolejnice 2*



*Obrázek 54 3D model – pohled na uchycení experimentální kolejnice 3*

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a experimentálně ověřit vhodný způsob ohřevu kolejnice pro následné použití v experimentální sestavě. Následně navrhnout i zmíněnou experimentální sestavu umožňující ověřovat chování různých druhů rezistančních tenzometrů při simulaci silového a tepelného namáhání železniční kolejnice. Zároveň bylo důležité zajištění různých okrajových podmínek, především volného konce a oboustranného vetknutí.

V první části se práce zabývala stručným teoretickým rozbohem problematiky bezstykové koleje. Následovalo seznámení s tématem tenzometrie, kde byla tato experimentální metoda popsána a byly představeny základní druhy tenzometrů. Následoval podrobnější rozbor rezistančního tenzometru, kde byly popsány jeho základní specifika, nebo způsoby zapojení. Poté byla představena disertační práce Ing. Petra Vnenka Ph.D. [5], která se kromě jiného zabývala využitím tenzometrie při dlouhodobém sledování vývoje mechanického napětí v provozované koleji.

V další části se práce věnovala návrhu experimentální sestavy pro zjišťování chování různých druhů tenzometrů aplikovaných na kolejnici, která byla vystavena silovému a tepelnému namáhání při zajištění okrajových podmínek, jako je volný konec, nebo oboustranné vetknutí. Nejprve byla představena kolejnice a úpravy, které byly nutné pro její použití v experimentální sestavě. Poté se práce zabývala zvažovanými způsoby ohřevu kolejnice. Obecně tato práce kladla velký důraz na výběr vhodného způsobu ohřevu kolejnice. Konečný výběr nejvhodnějšího způsobu ohřevu experimentální kolejnice se totiž opíral o velké množství provedených zkoušek.

Další část práce zahrnovala instalaci tenzometrů na experimentální kolejnici. K tomu bylo zapotřebí vybrat vhodné typy rezistančních tenzometrů a zvolit jejich správné umístění na kolejnici pro zajištění co nejlepších výsledků měření.

Závěrečná část práce představila hlavní části experimentální sestavy, následoval návrh sestavy upevnění a popis výroby součástí této sestavy. Byl také navržen 3D, sloužící k názorné vizualizaci návrhu experimentální sestavy a usnadňující pochopení její konstrukce a funkčního uspořádání.

## **DOPORUČENÍ K DALŠÍMU VÝZKUMU**

Doporučuji využití poznatků této diplomové práce pro kompletní navržené experimentální sestavy v areálu VVCD v Doubravíciích. Následně doporučuji provedení série experimentálních měření. Při návrhu jednotlivých měření bude vhodné se především zaměřit na různé kombinace okrajových podmínek a způsobů namáhání.

Při realizaci experimentů zahrnující ohřev experimentální sestavy doporučuji neustále sledovat parametry ohřevu a v případě potřeby upravovat nastavení ohřevné soustavy.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Huggenbergerův tenzometr .....	16
Obrázek 2 Konstrukce foliových čidel .....	19
Obrázek 3 Čtvrtmůstek .....	24
Obrázek 4 Polomůstek pro tah a tlak .....	25
Obrázek 5 Závislost k-faktoru na teplotě pro čtyři běžně používané slitiny měřících mřížek.....	29
Obrázek 6 Schéma umístění měřící jednotky na kolejnici .....	32
Obrázek 7 Nalepený tenzometr (ještě s teflonovou příkrývkou) .....	32
Obrázek 8 Nákres zkušebního tělesa .....	36
Obrázek 9 Umístění tenzometrů na zkušební vzorek .....	37
Obrázek 10 Uchycení zkušebního vzorku do čelistí dynamického standu .....	38
Obrázek 11 Označení třídy kolejnicové oceli na experimentální kolejnici .....	45
Obrázek 12 Kompletní válcované značení Ek .....	48
Obrázek 13 Nákres značení měřících profilů experimentální kolejnice .....	51
Obrázek 14 Fyzické značení měřících profilů experimentální kolejnice.....	52
Obrázek 15 Číslování topných těles a jejich umístění .....	54
Obrázek 16 Nákres vrtaného otvoru zemnicího bodu.....	54
Obrázek 17 Nákres vrtaných otvorů pro realizaci vetknutí a pro uchycení topných těles .....	56
Obrázek 18 Nákres vrtaných otvorů pro umístění teplotních sond.....	58
Obrázek 19 Obrázek indukčního ohříváče .....	59
Obrázek 20 Indukční smyčka pro lokální ohřev .....	60
Obrázek 21 Dvojice infrazářičů při zkoušce ohřevu Ek .....	61
Obrázek 22 Topná tělesa po instalaci propojovacích vodičů .....	62
Obrázek 23 Schéma elektrického zapojení topných těles .....	63
Obrázek 24 Připojení teplotních sond termostatů na topná tělesa .....	64
Obrázek 25 Trojice regulátorů napětí při zkoušce ohřevu .....	66
Obrázek 26 Kontaktní uchycení topných těles k experimentální kolejnici.....	68
Obrázek 27 Osazené závitové tyče elektricky izolovaného uchycení topných těles .	69
Obrázek 28 Detail přítlačných svěrek elektricky izolovaného upevnění topných těles .....	70
Obrázek 29 Keramické destičky s vyřezanou drážkou pro umístění závitové tyče... 71	

Obrázek 30 Keramická destička a vrstva minerální vaty před lepením.....	71
Obrázek 31 Nanesení žáruvzdorného lepidla Hermetic 35 Professional na vnitřní stranu keramické destičky .....	72
Obrázek 32 Keramické destičky s nalepenou vrstvou minerální vaty .....	72
Obrázek 33 Odvrtané, obroušené a odmaštěné plechy připravené na lepení.....	73
Obrázek 34 Sada dvousložkového lepidla HBM X60 Schnellklebstoff .....	74
Obrázek 35 Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 při měření .....	75
Obrázek 36 Aplikace teplovodné pasty Arctic MX – 4 na teplotní sondu.....	78
Obrázek 37 Instalace sondy DS18B20 do připraveného otvoru na patě Ek .....	78
Obrázek 38 Zajištění teplotní sondy aplikací zátky z papírové buničiny .....	79
Obrázek 39 Tepelná ochrana přívodních kabelů teplotních sond z minerální vaty ...	79
Obrázek 40 Schéma ocelového zkušebního profilu včetně umístění měřících profilů .....	91
Obrázek 41 Optimální umístění topných těles na Ek.....	146
Obrázek 42 Detail umístění tenzometrů s různým zapojením .....	149
Obrázek 43 Schéma umístění tenzometrů 1 .....	151
Obrázek 44 Schéma umístění tenzometrů 2.....	152
Obrázek 45 Příprava povrchu Ek pro osazení tenzometrů.....	156
Obrázek 46 Příprava povrchu Ek pro osazení tenzometrů – hlava kolejnice .....	157
Obrázek 47 Příprava povrchu Ek pro osazení tenzometrů – stojina kolejnice .....	158
Obrázek 48 Příprava povrchu Ek pro osazení tenzometrů – pata kolejnice .....	159
Obrázek 49 3D model – pohled na kompletní experimentální sestavu 1.....	163
Obrázek 50 3D model – pohled na kompletní experimentální sestavu 2.....	163
Obrázek 51 3D model – pohled na kompletní experimentální sestavu 3.....	164
Obrázek 52 3D model – pohled na uchycení experimentální kolejnice 1.....	164
Obrázek 53 3D model – pohled na uchycení experimentální kolejnice 2.....	165
Obrázek 54 3D model – pohled na uchycení experimentální kolejnice 3.....	165

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Průměrné hodnoty deformační citlivosti (k-faktoru) pro tenzometry s různými materiály měřicích mřížek .....	21
Tabulka 2 SŽ S3 – 4 tab.3 Třídy kolejnicových ocelí, jejich mechanické vlastnosti a značení .....	46
Tabulka 3 Třídy kolejnicových ocelí a jejich značení .....	47
Tabulka 4 Chemické vlastnosti a mechanické vlastnosti jednotlivých tříd oceli .....	50
Tabulka 5 Přehled značení teplotních sond a jejich umístění na Ek .....	77
Tabulka 6 Přehled provedených zkoušek ohřevu 1. část.....	83
Tabulka 7 Přehled provedených zkoušek ohřevu 2. část.....	84
Tabulka 8 Přehled provedených zkoušek ohřevu 3. část.....	85
Tabulka 9 Naměřené hodnoty ze zkoušky ohřevu pomocí elektro magnetické indukce .....	86
Tabulka 10 Naměřené hodnoty zkoušky ohřevu topných těles při regulaci jejich výkonu regulátorem napětí.....	88
Tabulka 11 Naměřené hodnoty zkoušky prostupu tepla ocelí při jednostranném zahřívání.....	92
Tabulka 12 Vyhodnocené odchylky teploty uvnitř materiálu od průměrné teploty na povrchu zkušebního profilu .....	95
Tabulka 13 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči v jednotlivých měřicích profilech na hlavě kolejnice .....	98
Tabulka 14 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči v jednotlivých měřicích profilech na stojině kolejnice .....	98
Tabulka 15 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči v jednotlivých měřicích profilech na patě kolejnice .....	99
Tabulka 16 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí infrazářičů v jednotlivých měřicích profilech na hlavě kolejnice .....	113
Tabulka 17 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí infrazářičů v jednotlivých měřicích profilech na stojině kolejnice .....	114
Tabulka 18 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí infrazářičů v jednotlivých měřicích profilech na patě kolejnice .....	115
Tabulka 19 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí soustavy topných těles v jednotlivých měřicích profilech na hlavě kolejnice.....	121

Tabulka 20 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí soustavy topných těles v jednotlivých měřících profilech na stojině kolejnice .....	122
Tabulka 21 Naměřené hodnoty teploty zkoušky ohřevu Ek pomocí soustavy topných těles v jednotlivých měřících profilech na patě kolejnice .....	122
Tabulka 22 Ukázka agregace souboru naměřených dat ze zkoušky ohřevu 25.2.2025 .....	131
Tabulka 23 Přehled značení teplotních sond a jejich umístění na Ek .....	135
Tabulka 24 Agregovaný soubor naměřených dat z teplotních sond.....	136
Tabulka 25 Statistická analýza – průměrná teplota a odchylky od průměrné teploty Ek .....	137
Tabulka 26 Statistická analýza – odchylky od průměrné teploty Ek .....	138
Tabulka 27 Statistická analýza – odchylky od průměrné teploty, minimální a maximální odchylka od průměrné teploty Ek .....	139
Tabulka 28 Statistická analýza – rozpětí odchylek od průměrné teploty, směrodatná odchylka, variační koeficient a mediánová odchylka .....	140
Tabulka 29 Závěrečné vyhodnocení statistické analýzy .....	142
<i>Tabulka 30 Závěrečné vyhodnocení statistické analýzy všech zkoušek ohřevu.....</i>	<i>143</i>
Tabulka 31 Vlastnosti vybraných tenzometrů pro účely experimentu .....	147
Tabulka 32 Podrobný rozpis všech použitých tenzometrů.....	154

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Závislost naměřené deformace na podélné síle (tepelné zatížení při oboustranném vetknutí) .....	42
Graf 2 Závislost naměřené deformace na podélné síle (tepelné zatížení s počátečním předpětím) .....	42
Graf 3 Naměřené hodnoty ze zkoušky ohřevu pomocí elektro magnetické indukce.	86
Graf 4 Naměřené hodnoty zkoušky ohřevu topných těles při regulaci jejich výkonu regulátorem napětí.....	89
Graf 5 Kontinuální záznam vývoje teploty z teplotní sondy .....	93
Graf 6 Záznam teploty ze všech míst zkušebního tělesa.....	93
Graf 7 Vývoj odchylek teploty uvnitř materiálu od průměrné povrchové teploty zkušebního profilu.....	96
Graf 8 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – hlava kolejnice – před přidáním infrazářičů .....	100
Graf 9 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – hlava kolejnice – po přidání infrazářičů – osvětlená strana.....	100
Graf 10 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – hlava kolejnice – po přidání infrazářičů – odvrácená strana .....	101
Graf 11 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Stojina kolejnice – před přidáním infrazářičů .....	101
Graf 12 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Stojina kolejnice – po přidání infrazářičů – osvětlená strana.....	102
Graf 13 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Stojina infrazářiči – po přidání infrazářičů – odvrácená strana.....	102
Graf 14 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Pata kolejnice – před přidáním infrazářičů .....	103
Graf 15 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Pata kolejnice – po přidání infrazářičů – osvětlená strana.....	103
Graf 16 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Pata kolejnice – po přidání infrazářičů – odvrácená strana .....	104
Graf 17 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 2 – před přidáním infrazářičů .....	104

Graf 18 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 2 – po přidání infrazářičů – osvětlená strana.....	105
Graf 19 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 2 – po přidání infrazářičů – odvrácená strana .....	105
Graf 20 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 4 – před přidáním infrazářičů .....	106
Graf 21 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 4 – po přidání infrazářičů – osvětlená strana.....	106
Graf 22 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 4 – po přidání infrazářičů – odvrácená strana .....	107
Graf 23 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 5 – po přidání infrazářičů – osvětlená strana.....	107
Graf 24 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 5 – po přidání infrazářičů – odvrácená strana .....	108
Graf 25 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 6 – před přidáním infrazářičů .....	108
Graf 26 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 6 – po přidání infrazářičů – osvětlená strana.....	109
Graf 27 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 6 – po přidání infrazářičů – odvrácená strana .....	109
Graf 28 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 8 – před přidáním infrazářičů .....	110
Graf 29 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 8 – po přidání infrazářičů – osvětlená strana.....	110
Graf 30 Zkouška ohřevu pomocí topných těles v kombinaci s infrazářiči – Měřicí profil 8 – po přidání infrazářičů – odvrácená strana .....	111
Graf 31 Zkouška ohřevu pomocí infrazářičů – hlava kolejnice.....	116
Graf 32 Zkouška ohřevu pomocí infrazářičů – stojina kolejnice.....	116
Graf 33 Zkouška ohřevu pomocí infrazářičů – pata kolejnice.....	117
Graf 34 Zkouška ohřevu pomocí infrazářičů – Měřicí profil 2.....	117
Graf 35 Zkouška ohřevu pomocí infrazářičů – Měřicí profil 4.....	118
Graf 36 Zkouška ohřevu pomocí infrazářičů – Měřicí profil 6.....	118
Graf 37 Zkouška ohřevu pomocí infrazářičů – Měřicí profil 8.....	119
Graf 38 Zkouška ohřevu pomocí soustavy topných těles – hlava kolejnice .....	123

Graf 39 Zkouška ohřevu pomocí soustavy topných těles – stojina kolejnice .....	123
Graf 40 Zkouška ohřevu pomocí soustavy topných těles – pata kolejnice .....	124
Graf 41 Zkouška ohřevu pomocí soustavy topných těles – měřící profil 2 .....	124
Graf 42 Zkouška ohřevu pomocí soustavy topných těles – měřící profil 4 .....	125
Graf 43 Zkouška ohřevu pomocí soustavy topných těles – měřící profil 6 .....	125
Graf 44 Zkouška ohřevu pomocí soustavy topných těles – měřící profil 8 .....	126
Graf 45 Kompletní soubor naměřených dat bez použití optimalizace teplotních řad .....	129
Graf 46 Kompletní soubor naměřených dat s použitím optimalizace teplotních řad .....	129
Graf 47 Kompletní soubor naměřených dat z teplotních sond.....	134
Graf 48 Průměrná teplota Ek z agregovaného souboru dat z teplotních sond .....	141
Graf 49 Odchylky od průměrné teploty Ek jednotlivých měřících míst.....	141
Graf 50 Statistická analýza – rozpětí odchylek, směrodatná odchylka, variační koeficient, mediánová odchylka .....	142
Graf 51 Závěrečné vyhodnocení statistické analýzy všech zkoušek ohřevu .....	144

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KREJČIŘÍKOVÁ, Hana. *Železniční stavby 2*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04889-4.
- [2] LICHTBERGER, Bernhard. *Track compendium: track system, substructure, maintenance, economics*. 2nd edition, completely revised. Hamburg: DVV Media Group GmbH Eurailpress, 2011. ISBN 978-3-7771-0421-8.
- [3] ČD S3/2 *Bezстыková kolej*. Praha: České dráhy, s.o. Divize obchodně provozní, oz., OPŘ Ostrava oddělení reklamy, propagace a tisku Nerudova 1 772 58 Olomouc, 2002.
- [4] MURÍNOVÁ, Klára. *Nelineární analýza bezстыkové koleje v obloucích malého poloměru*. Online, Diplomová práce, vedoucí Otto Plášek. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav železničních konstrukcí a staveb, 2021. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/196008>.
- [5] VNENK, Petr. *Methodology of Thermal Stress Determination in Continuous Welded Rail*. Online Pardubice, 2022. Disertace. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra dopravního stavitelství. Vedoucí práce Bohumil Culek.
- [6] ČD S67 *Vady a lomy kolejnic*. Praha: DEBORA, spol. s r. o. Budečská 6 120 00 Praha 2, 1997.
- [7] ESVELD, Coenraad. *Modern railway track*. 2nd ed. Zaltbommel: MRT Productions, c2001. ISBN 90-800324-3-3.
- [8] PLÁŠEK, Otto. *Železniční stavby: železniční spodek a svršek*. Brno: CERM, 2004. ISBN 80-214-2620-9.
- [9] FICKER, Tomáš. *Tenzometrie stavebních konstrukcí*. Praha: Academia, 1992. ISBN 80-214-0483-3.
- [10] HOFFMANN, Karl, c1989. *An Introduction to Measurements using Strain Gages*. Darmstadt: Hottinger Baldwin Messtechnik.
- [11] VNENK, Petr a kol. *Metodika nedestruktivního stanovení mechanického napětí v kolejnicích bezстыkové koleje*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2022. Výstup projektu TAČR TJ04000301. Dostupné také z:

[https://dfjp.upce.cz/sites/default/files/public/pevn0935/metodika\\_komplet\\_2\\_180313.pdf](https://dfjp.upce.cz/sites/default/files/public/pevn0935/metodika_komplet_2_180313.pdf)

[12] SŽDC. *SŽDC S3/4 Železniční svršek – Kolejnice*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, 2011. Účinnost od 1. října 2008, ve znění změny č. 1 účinné od 1. října 2011. [online]. Dostupné z:

[https://www.spravazeleznice.cz/documents/50004227/64303803/SZDC\\_S3\\_Dil\\_04\\_s\\_ezm1az3\\_20190301.pdf](https://www.spravazeleznice.cz/documents/50004227/64303803/SZDC_S3_Dil_04_s_ezm1az3_20190301.pdf)

[13] ČSN EN 13674-1+A1. *Železniční aplikace – Kolejnice – Část 1: Kolejnice typu Vignole o jmenovité hmotnosti 46 kg/m a větší*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. 68 s.

UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
(PŘÍLOHY)

2025

Miloš Šula

## Přílohy

Příloha 1 Experimentální kolejnice – značení řezů kolejnice .....	7
Příloha 2 Číslování topných těles a jejich umístění .....	8
Příloha 3 Experimentální kolejnice – Díra šroubu uzemnění .....	9
Příloha 4 Experimentální kolejnice – Otvory pro vetknutí a držáky .....	10
Příloha 5 Experimentální kolejnice – otvory pro teplotní sondy .....	11
Příloha 6 Technické specifikace k ohřívači DRAGON IHD 1000 od společnosti TEKNEKEL .....	12
Příloha 7 Technické specifikace infrazářičů EUROM Safe – T – Shine 900 W ...	13
Příloha 8 Technické specifikace digitálních termostatů s teplotními sondami .....	14
Příloha 9 Technické specifikace regulátoru napětí.....	15
Příloha 10 Technické specifikace bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 .....	16
Příloha 11 Technické specifikace teplotní sondy DS18B20 .....	17
Příloha 12 Zkouška ohřevu Ek pomocí elektro – magnetické indukce.....	18
Příloha 12. 1. Zdrojová data .....	19
Příloha 12. 2. Grafy .....	19
Příloha 12. 3. Závěr .....	19
Příloha 12. 4. Deník zkoušky .....	20
Příloha 13 První zkouška ohřevu Ek pomocí topných těles.....	21
Příloha 13.1. Zdrojová data .....	22
Příloha 13.2. Závěr .....	22
Příloha 13.3. Fotodokumentace.....	23
Příloha 13.4. Deník zkoušky .....	24
Příloha 14. Ověřovací zkouška funkčnosti topných těles a digitálního termostatu s teplotní sondou .....	25
Příloha 14.1. Závěr .....	25
Příloha 14.2. Fotodokumentace.....	26
Příloha 15. Ověřovací zkouška kontaktního uchycení topných těles s izolačními prvky .....	28
Příloha 15.1. Zdrojová data .....	29
Příloha 15.2. Závěr .....	29
Příloha 15.3. Fotodokumentace.....	29
Příloha 15.4. Deník zkoušky .....	31
Příloha 16. Zkouška maximální dosažitelné teploty topného tělesa .....	32
Příloha 16.1. Závěr .....	32
Příloha 16.2. Fotodokumentace.....	33

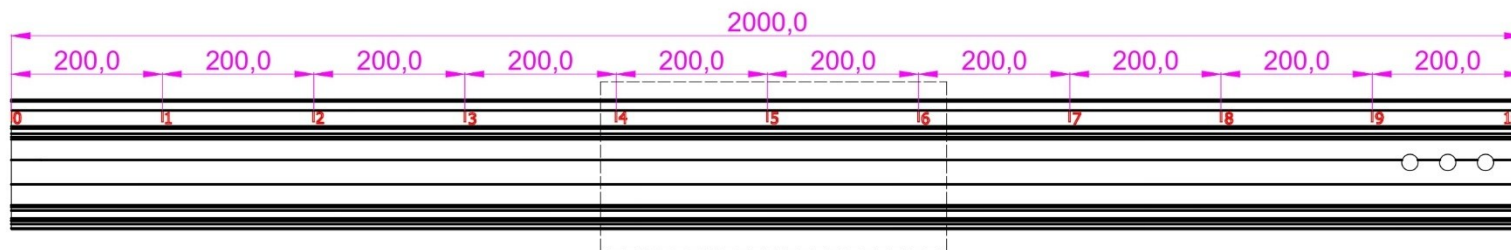
Příloha 17. Zkouška ohřevu ocelového zkušebního profilu pro zjištění vhodného způsobu měření teploty .....	34
Příloha 17.1. Zdrojová data .....	35
Příloha 17.2. Grafy .....	36
Příloha 17.3. Závěr .....	36
Příloha 17.4. Fotodokumentace.....	37
Příloha 18. První zkouška ohřevu Ek s použitím elektricky izolovaného uchycení topných těles.....	38
Příloha 18.1. Zdrojová data .....	39
Příloha 18.2. Grafy .....	40
Příloha 18.3. Závěr .....	44
Příloha 18.4. Fotodokumentace.....	44
Příloha 18.5. Deník zkoušky .....	46
Příloha 19. Zkouška ohřevu ocelového zkušebního profilu pro zjištění vhodného způsobu měření teploty 2 .....	47
Příloha 19.1. Zdrojová data .....	48
Příloha 19.2. Výpočty a zpracování dat .....	49
Příloha 19.3. Grafy .....	51
Příloha 19.4. Závěr .....	52
Příloha 19.5. Fotodokumentace.....	53
Příloha 19.6. Deník zkoušky .....	54
Příloha 20. Zkouška ohřevu hlavy Ek s termostatickou regulací 1 .....	55
Příloha 20.1. Zdrojová data .....	56
Příloha 20.2. Grafy .....	57
Příloha 20.3. Závěr .....	58
Příloha 20.4. Deník zkoušky .....	59
Příloha 21. Zkouška ohřevu Ek s termostatickou regulací 2.....	60
Příloha 21.1. Zdrojová data .....	61
Příloha 21. 2. Grafy .....	62
Příloha 21.3. Závěr .....	66
Příloha 21.4. Fotodokumentace.....	66
Příloha 21.5. Deník zkoušky .....	67
Příloha 22. Zkouška ohřevu Ek s termostatickou regulací 3.....	68
Příloha 22.1. Zdrojová data .....	69
Příloha 22.2. Grafy .....	70
Příloha 22.3. Závěr .....	72
Příloha 22.4. Deník zkoušky .....	73
Příloha 23. Zkouška ohřevu Ek s termostatickou regulací 4.....	74

Příloha 23.1. Zdrojová data .....	75
Příloha 23.2. Grafy .....	76
Příloha 23.3. Závěr .....	80
Příloha 23.4. Deník zkoušky .....	81
Příloha 24. Dlouhodobá zkouška ohřevu Ek pomocí topných těles v kombinaci s infrazářičem .....	82
Příloha 24.1. Zdrojová data .....	83
Příloha 24.2. Grafy .....	85
Příloha 24.3. Závěr .....	97
Příloha 24.4. Deník zkoušky .....	98
Příloha 25. Zkouška ohřevu Ek pouze pomocí dvojice infrazářičů .....	102
Příloha 25.1. Zdrojová data .....	103
Příloha 25.2. Grafy .....	106
Příloha 25.3. Závěr .....	109
Příloha 25.4. Fotodokumentace.....	110
Příloha 25.5. Deník zkoušky .....	111
Příloha 26. Zkouška ohřevu dvojice topných těles pomocí regulátoru napětí 1 ..	112
Příloha 26.1. Zdrojová data .....	113
Příloha 26.2. Grafy .....	114
Příloha 26.3. Závěr .....	114
Příloha 26.4. Deník zkoušky .....	115
Příloha 27. Zkouška ohřevu dvojice topných těles pomocí regulátoru napětí 2 ..	116
Příloha 27.1. Zdrojová data .....	117
Příloha 27.2. Grafy .....	118
Příloha 27.3. Závěr .....	118
Příloha 27.4. Fotodokumentace.....	119
Příloha 28. Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí .....	121
Příloha 28.1. Zdrojová data .....	122
Příloha 28.2. Grafy .....	125
Příloha 28.3. Závěr .....	128
Příloha 28.4. Deník zkoušky .....	129
Příloha 29. Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 1 .....	130
Příloha 29.1. Zdrojová data .....	131
Příloha 29.2. Výpočty a zpracování dat .....	132
Příloha 29.3. Grafy .....	136
Příloha 29. 4. Závěr .....	139
Příloha 29. 5. Fotodokumentace.....	140

Příloha 30. Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 2 .....	141
Příloha 30.1. Zdrojová data .....	142
Příloha 30.2. Výpočty a zpracování dat .....	143
Příloha 30.3. Grafy .....	147
Příloha 30.4. Závěr .....	149
Příloha 30.5. Fotodokumentace .....	149
Příloha 31. Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 3 .....	150
Příloha 31.1. Zdrojová data .....	151
Příloha 31.2. Výpočty a zpracování dat .....	152
Příloha 31.3. Grafy .....	156
Příloha 31.4. Závěr .....	158
Příloha 31.5. Fotodokumentace .....	158
Příloha 32. Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 4 .....	159
Příloha 32.1. Zdrojová data .....	160
Příloha 32.2. Výpočty a zpracování dat .....	162
Příloha 32.3. Grafy .....	166
Příloha 32.4. Závěr .....	169
Příloha 33. Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond .....	170
Příloha 33.1. Zdrojová data .....	171
Příloha 33.2. Výpočty a zpracování dat .....	173
Příloha 33.3. Grafy .....	177
Příloha 33.4. Závěr .....	179
Příloha 34. Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 6 .....	180
Příloha 34.1. Zdrojová data .....	181
Příloha 34.2. Výpočty a zpracování dat .....	183
Příloha 34.3. Grafy .....	187
Příloha 34.4. Závěr .....	189
Příloha 35. Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 7 .....	190
Příloha 35.1. Zdrojová data .....	191
Příloha 35.2. Výpočty a zpracování dat .....	194
Příloha 35.3. Grafy .....	202
Příloha 35.4. Závěr .....	204
Příloha 36 návody k hydromotorům Inova AH .....	205

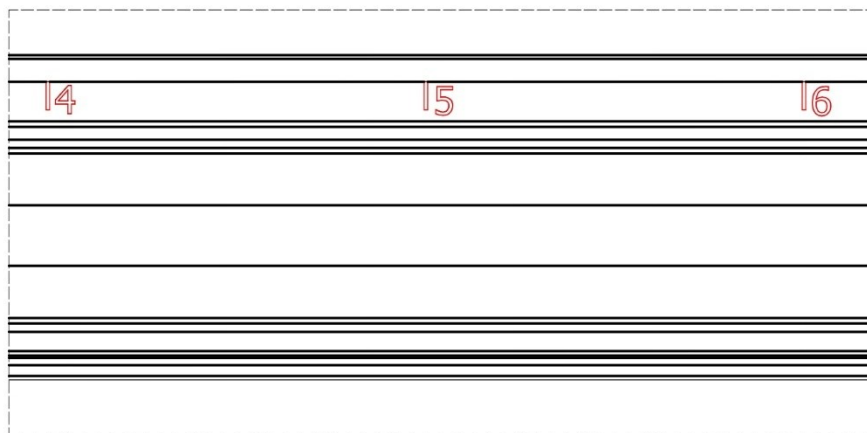
Příloha 37 Posouzení šroubových a čepových spojů .....	208
Příloha 37.1. Čepový spoj – střih a otláčení .....	208
Příloha 37.2. Šroubový spoj kategorie A – střih a otláčení: .....	210
Příloha 37.3. Posouzení v otláčení – kritické místo: stojina kolejnice.....	211
Příloha 37.4. Posouzení v otláčení – příložné plechy .....	212
Příloha 37.5. Posouzení únosnosti ve střihu .....	213
Příloha 38 Výrobní výkresy .....	214
Příloha 39 Náhledy 3D modelu Experimentální sestavy .....	222

# Příloha 1 Experimentální kolejnice – značení řezů kolejnice



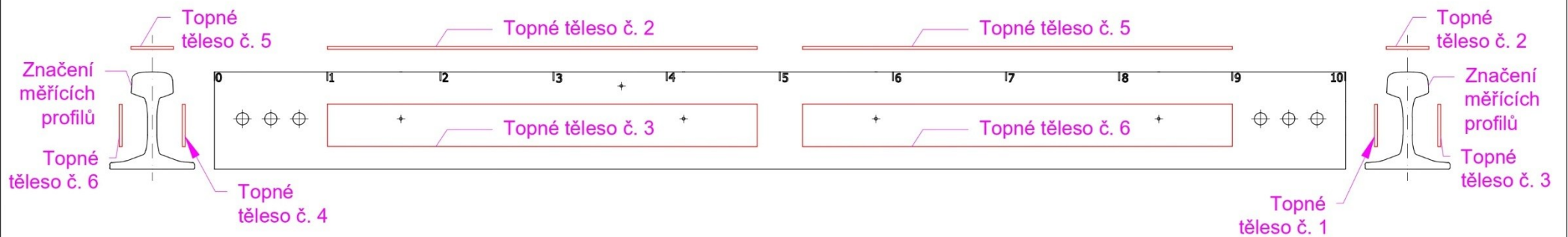
Detail D1

Detail D1 2,5x



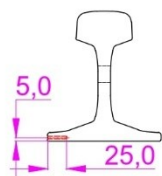
Vypracoval: Bc. Miloš Šula	Kontroloval:	Dopravní fakulta Jana Pernera	
Experimentální kolejnice – Značení řezů kolejnice		Datum:	10.11.2024
		Formát:	A4
		č. výkresu:	1
		Měřítko: 1:10	Pravoúhlé promítání: ISO E

## Příloha 2 Číslování topných těles a jejich umístění



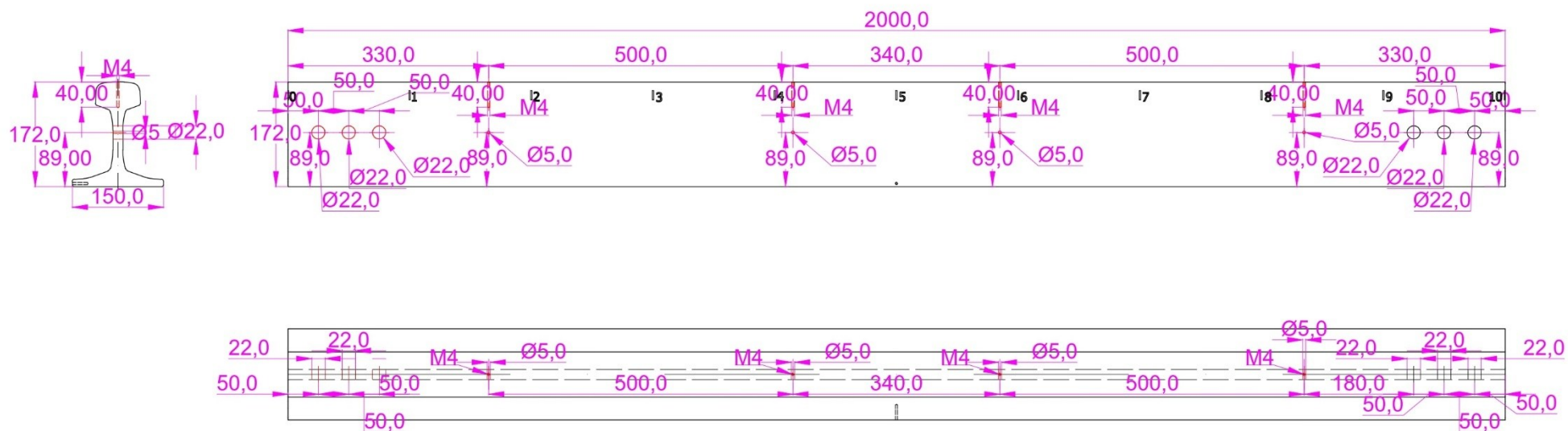
Vypracoval:	Kontroloval:	Dopravní fakulta Jana Pernera	
Bc. Miloš Šula		Datum:	9.4.2025
Číslování topných těles a jejich umístění		Formát:	A4
		č. výkresu:	6
		Měřítko:	Pravoúhlé promítání: ISO E
1:10			

### Příloha 3 Experimentální kolejnice – Díra šroubu uzemnění



Vypracoval:	Kontroloval:	Dopravní fakulta Jana Pernera	
Bc. Miloš Šula		Datum:	27.11.2024
Experimentální kolejnice – Díra šroubu uzemnění		Formát:	A4
		č. výkresu:	2
		Měřítko:	Pravoúhlé promítání: ISO E
1:10			

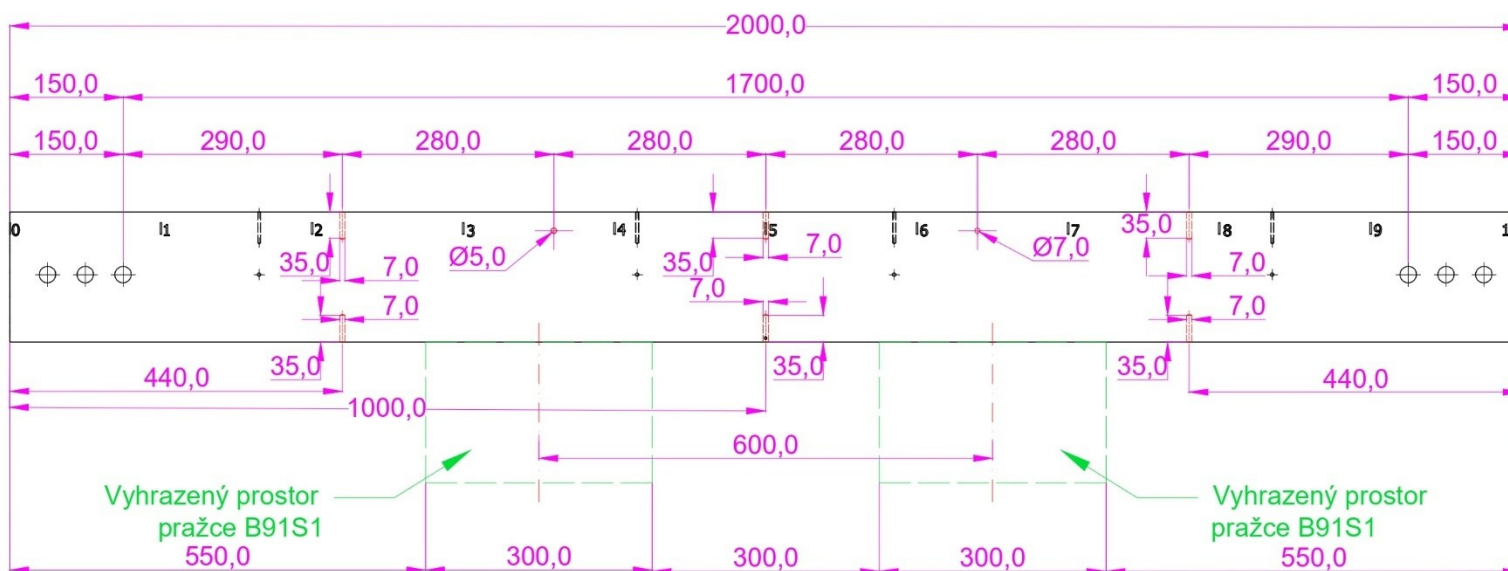
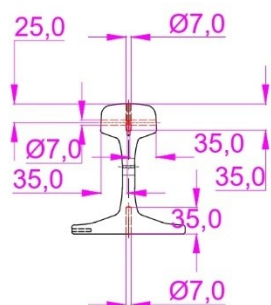
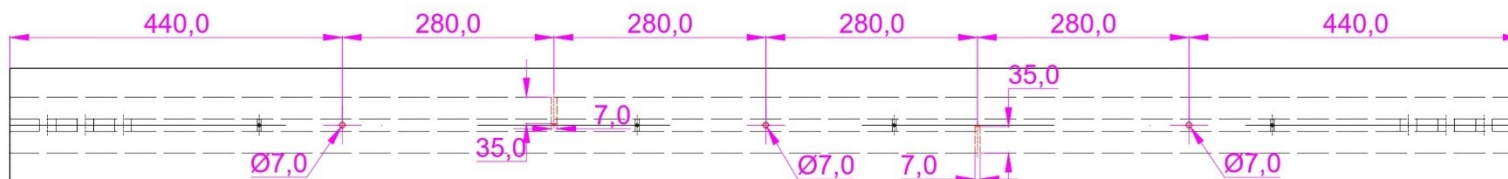
# Příloha 4 Experimentální kolejnice – Otvory pro vetknutí a držáky



Vypracoval:	Kontroloval:	Dopravní fakulta Jana Pernera	
Bc. Miloš Šula		Datum:	17.12.2024
Experimentální kolejnice – Otvory pro vetknutí a držáky		Formát:	A4
		č. výkresu:	3
		Měřítko:	Pravoúhlé promítání: ISO E
1:10			

# Příloha 5 Experimentální kolejnice – otvory pro teplotní sondy

**Poznámky:**  
Celkem 8 děr Ø7 mm x 35 mm



Vypracoval: Bc. Miloš Šula	Kontroloval:	Dopravní fakulta Jana Pernera	
Experimentální kolejnice – Otvory pro teplotní sondy		Datum:	6.2.2025
		Formát:	A4
		č. výkresu:	4
		Měřítko: 1:10	Pravoúhlé promítání: ISO E

## **Příloha 6 Technické specifikace k ohřívači DRAGON IHD 1000 od společnosti TEKNEL**

### **Specifikace:**

Typ indukčního ohřívače: DRAGON Mod: IHD 1000

Příkon: 12 kW

Napětí: 400 V

Napájecí frekvence: 50 Hz

Pracovní frekvence: 15-50 kHz automatická sekce, řízená mikroprocesorem

Izolace: Třída F, Počet pólů: 3 + T

Kapalinové chlazení

Délka přívodního kabelu: 8 m

Kabel induktoru: 4m/7m

### **Rozměry a hmotnosti**

hmotnost 80 kg, výška 800 mm + 96 mm kola, šířka 500 mm, hloubka 500 mm

Zdroj: Teknel (2007)

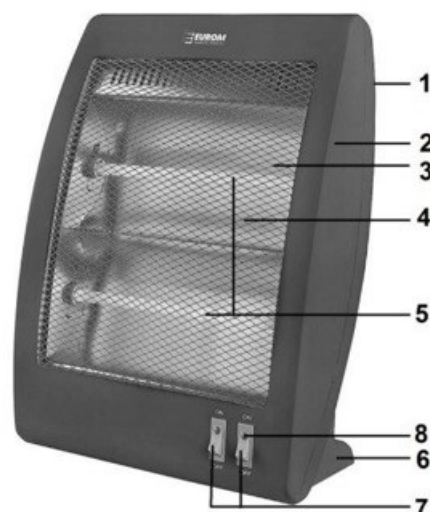
## Příloha 7 Technické specifikace infrazářičů EUROM Safe – T – Shine 900 W

### Technické údaje

Typ		<b>SAFE-T-SHINE 900</b>
Napájecí napětí	V/Hz	220-240 / 50
Dosažitelný výkon	Watt	900
Volby nastavení	Watt	0 – 450 – 900
Rozměry	cm	12,5 x 32 x 37
Hmotnost	kg	1,1

### Popis

1. Rukojeť (zadní strana)
2. Schránka
3. Otopná mřížka
4. Reflektor
5. Křemenná lampa (2x)
6. Nožka
7. Ovládací spínač (2x)
8. Kontrolka (2x)



Zdroj: [https://www.powerfulproducts.nl/a-41627683/straalkachels/eurom-safe-t-shine-900/?srsltid=AfmBOoou47ZRV\\_OgA6NtcAbgFyRx03njfXsULoDsJs6x11Goi49bIZ7w&utm\\_source=chatgpt.com#description](https://www.powerfulproducts.nl/a-41627683/straalkachels/eurom-safe-t-shine-900/?srsltid=AfmBOoou47ZRV_OgA6NtcAbgFyRx03njfXsULoDsJs6x11Goi49bIZ7w&utm_source=chatgpt.com#description) (2025)

## Příloha 8 Technické specifikace digitálních termostatů s teplotními sondami



### TERMOSTATICKÝ REGULÁTOR TEPLoty SÍŤOVÁ ZÁSUVKA



#### TECHNICKÉ ÚDAJE

- ✓ Napětí 110V ~ 230V AC 50Hz/60Hz
- ✓ Maximální zatížení 16A(2) 3680W.u
- ✓ Teplotní rozsah - 40 ~ 120 °C
- ✓ Přesnost +/- 1 %
- ✓ Přesnost měření času max. 10 minut
- ✓ Teplotní rozsah - 40 ~ 120 °C
- ✓ Rozpojený obvod (nebo méně než 40 °C), první řádek obrazovky bliká "1", - 40 ~ 45 °C, displej-40 °C
- ✓ Zkrat (nebo více než 120 °C), první řádek obrazovky bliká displej "E2", 121-129 °C displej 120 °C
- ✓ Nižší než 10 °C nebo vyšší než 100 °C, nezobrazí se hodnota za desetinnou čárkou.
- ✓ Režim chlazení, počáteční teplota > teplota zastavení
- ✓ Režim vytápění, počáteční teplota < teplota zastavení

Zdroj: EuroKomp(s.d.)

## Příloha 9 Technické specifikace regulátoru napětí

# Silicon Controlled Rectifier SPEED CONTROL

## Thyristor Electronic Voltage Regulator/Speed Controller/High Power Regulator

### ■ Technical Parameter

Product model: DJ-SC40

Input voltage: AC110V/AC220V 50/60Hz

Output voltage: 0-220V adjustable ( Output voltage display) 0-120V/0-220V

Limit power:4000W (adapt to 2000W resistive load)

Adjustable voltage range: 0-220V Promise adjustable (under load conditions) step-down to 0V, step-up 10V from 9A

Rated current: 10A(220VAC)/15A(110VAC)

Max current: 18A(Overload protection 10A-15A)

Product size:120\*66\*56 mm

Product weight: 700g



Zdroj: DJ-SC40 – Uživatelský manuál k tyristorovému regulátoru (s.d.)

# Příloha 10 Technické specifikace bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574

## Řada 570 Přesné infračervené teploměry

FLUKE®



Fluke 574

### Měřte teplotu snadno a přesně

Řada Fluke 570 jsou nejvyspělejší IR bezkontaktní teploměry a jsou ideální pro aplikace v predikční a preventivní údržbě. Nabízejí široký teplotní rozsah a systém laserem věrně zaměřené části pro přesné zacílení a získání přesnějších výsledků měření. Požadujete-li analýzu a dokumentaci použijte dataloger se záznamem 100 údajů a software pro vytvoření grafů a analýzy. IR teploměry řady Fluke 570 provedou teplotní měření snadno a přesně, jak z blízka na elektrických svorkovnicích, tak i bilanční kontroly ve vzdálených částech místností.

- Zdokonalená optika umožňuje měření menších předmětů z větší vzdálenosti
- True Dimension™ (skutečný rozměr) tříbodové laserové zaměřování ohraničí skutečný průměr měřených míst ze všech vzdáleností
- Měnitelné nastavení emisivity a 30 přednastavených hodnot běžných materiálů pro přesnější měření
- 100 paměťových míst datalogeru k uložení naměřených hodnot (Fluke 574)



Fluke 572

### Vlastnosti

	572	574
Teplotní rozsah	-30 až 900 °C	
Optické rozlišení	Standardní: 60:1 Zaostření nablízko: 50:1	
Tříbodový laserový paprsek pro přesné zaměření	●	●
Nastavitelná emisivita	●	●
Bargraf (sloupcový) displej	●	●
Podsvícení LCD displeje	●	●
Volba °C nebo °F	●	●
Zvuková a optická výstraha vys./niz.	●/●	●/●
MINMAX	●	●
AVG/DIF hodnoty (průměr/rozdiel ΔT)	●	●
Ukládání dat (počet měření)		100
PC rozhraní		RS232

### Specifikace

	572	574
Teplotní rozsah	-30 až 900 °C	
Doba odezvy	250ms (pro 95% měření)	
Rozlišení	0,1°C z hodnoty až do 900 °C	
Opakovatelnost	± 0,5% z hodnoty, nebo ± 1 °C*	
Přesnost:(při předpokládané provozní teplotě okolí 23 °C až 25 °C )	± 0,75% z hodnoty, ± 0,75 °C *	
Typická vzdálenost od cíle	10,5 m	
Emisivita	Digitálně nastavitelná od 0,10 do 1,0 po 0,01	

\* platí vyšší hodnota.

**Životnost baterie:**  
běžně 10 hodin  
**Rozměry (VxŠxH):**  
200 mm x 170 mm x 55 mm  
**Hmotnost:** 0,480 kg  
**Záruka** 2 roky

### Standardně dodávané příslušenství

Fluke 572: Skořepinový kufřík, 2 baterie  
Fluke 574: Skořepinový kufřík, 2 baterie, termočláňková K sonda, 220 V zdroj, IRGraph software, RS232 kabel

### Informace pro objednávání

Fluke 572 Přesný infračervený teploměr  
Fluke 574 Přesný infračervený teploměr

Fluke 572CF Přesný infračervený teploměr se zaostřováním na blízko  
Fluke 574CF Přesný infračervený teploměr se zaostřováním na blízko

### Doporučené volitelné příslušenství



AN5  
Analogový datový  
kabel

C570  
Viz. str. 118

Zdroj: FLUKE (s.d.)

## Příloha 11 Technické specifikace teplotní sondy DS18B20

**eses**

1500635996

eses vodotěsný teploměr pro jednodeskové počítače

# eses vodotěsný teploměr pro jednodeskové počítače

## 1. POPIS

Jedná se o sondu s teplotním čidlem. Lze ji připojit k Arduino, Raspberry atp. Disponuje programovatelným rozlišením od 9 do 12 bitů. Teploměr je vhodný pro termostaty nebo domácí meteostanice.

Základní charakteristika:

- Voděodolná sonda
- Nerezové ocelové zapouzdření
- 1 metr dlouhý kabel



## 2. SPECIFIKACE

<b>Teplotní čidlo</b>	DS18B20	<b>Napájení</b>	3 až 5,5 V
<b>Stupeň krytí</b>	IP67	<b>Rozsah měření</b>	-55 až +125 °C
<b>Délka kabelu</b>	1 m	<b>Přesnost měření (-10 až +85 °C)</b>	± 0,5 °C
<b>Rozměry sondy (mm)</b>	50 x 6,5	<b>Rozlišení měření</b>	9 až 12 bitů

**eses** CZECH IMPORTER

Zdroj: Eses (s.d.)

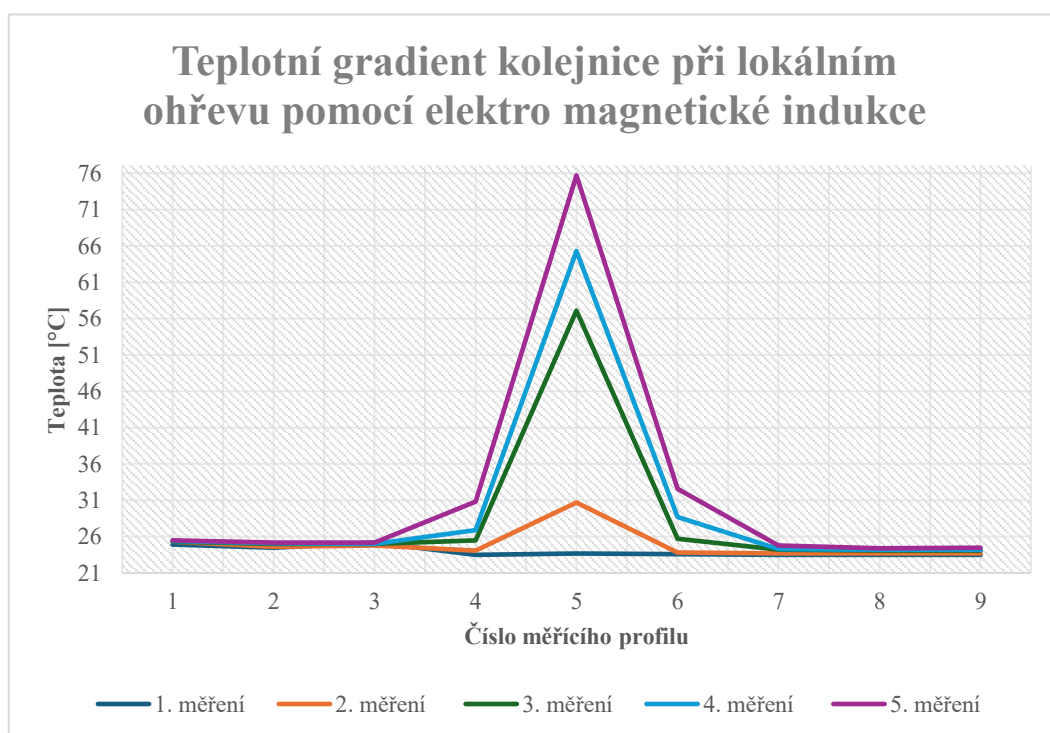
## Příloha 12 Zkouška ohřevu Ek pomocí elektro – magnetické indukce

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu experimentální kolejnice pomocí elektro – magnetické indukce
Datum zkoušky:	4.9.2024
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Stopky Papírový zápisník Experimentální kolejnice Indukční ohříváč Teknel DRAGON IHD 1000	
3) Cíle zkoušky	
Cílem zkoušky ohřevu kolejnice elektro – magnetickou indukcí bylo ověření vhodnosti tohoto způsobu ohřevu pro účely experimentu. Dalším cílem zkoušky bylo zjistit odezvu materiálu kolejnice na lokální ohřev indukční smyčkou a zaznamenat teplotní gradient po délce kolejnice v závislosti na vzdálenosti od místa lokálního ohřevu.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Příprava experimentální kolejnice.</li> <li>2) Příprava stopek.</li> <li>3) Seznámení se s fungováním indukčního ohříváče.</li> <li>4) Příprava a nastavení indukčního ohříváče.</li> <li>5) Umístění lokální indukční smyčky do vzdálenosti zhruba 10–20 mm nad povrchem pojižděné hrany experimentální kolejnice doprostřed její délky (měřicí profil č. 5).</li> <li>6) Spuštění indukčního ohříváče a stopek.</li> <li>7) Realizace ohřevu kolejnice pomocí manuálního držení indukční smyčky výše zmíněným způsobem.</li> <li>8) Přerušení ohřevu pro provedení měření teploty po 90 sekundách od začátku.</li> <li>9) Měření teploty bezkontaktním laserovým teploměrem Fluke 574 z boku hlavy kolejnice na měřících profilech 1–9, záznam naměřených hodnot do papírového záznamníku.</li> <li>10) Opětovné spuštění ohřevu stejným způsobem na 120 sekund.</li> <li>11) Přerušení ohřevu pro záznam teploty stejným způsobem.</li> <li>12) Opětovné spuštění ohřevu stejným způsobem na 180 sekund.</li> <li>13) Přerušení ohřevu pro záznam teploty stejným způsobem.</li> <li>14) Opětovné spuštění ohřevu stejným způsobem na 180 sekund.</li> <li>15) Přerušení ohřevu pro záznam teploty stejným způsobem.</li> <li>16) Opětovné spuštění ohřevu stejným způsobem na 180 sekund.</li> <li>17) Ukončení ohřevu a realizace posledního záznamu teploty obvyklým způsobem.</li> <li>18) Ukončení zkoušky ohřevu.</li> </ol>	

## Příloha 12. 1. Zdrojová data

Číslo odečtu a délky sérií ohřevu	+3:00 min	5.	25,5	25,2	25,2	30,8	75,7	32,6	24,8	24,4	24,5
	+3:00 min	4.	25,4	25,1	25	26,9	65,3	28,7	24,3	24,2	24,2
	+3:00 min	3.	25,3	25	25	25,5	57,1	25,7	24,2	24,1	24,1
	+2:00 min	2.	25,3	24,6	24,8	24,1	30,7	23,8	23,7	23,7	23,7
	+1:30 min	1.	24,9	24,5	25,2	23,5	23,7	23,6	23,5	23,5	23,5
Číslo měřícího profilu			1	2	3	4	5	6	7	8	9

## Příloha 12. 2. Grafy



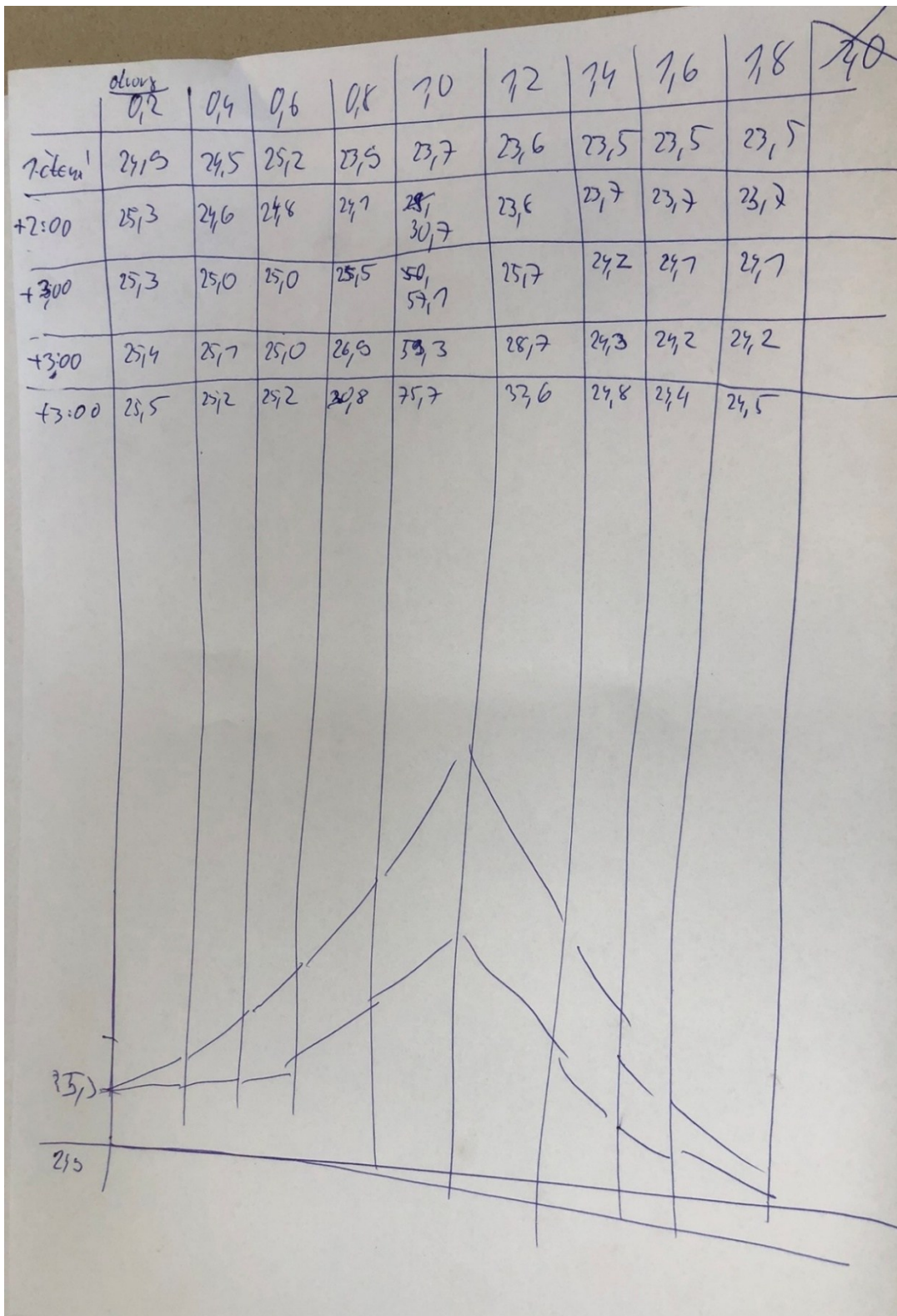
## Příloha 12. 3. Závěr

Zkouška ohřevu pomocí elektro – magnetické indukce s použitím indukční smyčky pro lokální ohřev proběhla dle plánu a bez komplikací.

Výsledky zkoušky poukazují na velmi nerovnoměrný ohřev experimentální kolejnice při použití tohoto zařízení. Lokální ohřev materiálu probíhá rychle, takže se teplo nestíhá rozdělovat do vzdálenějších částí kolejnice.

Nejedná se o vhodný způsob ohřevu pro účely experimentu. Pro další zkoušky ohřevu je nutné najít jiné, vhodnější řešení.

**Příloha 12. 4. Deník zkoušky**



## Příloha 13 První zkouška ohřevu Ek pomocí topných těles

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	První zkouška ohřevu Ek pomocí topných těles
Datum zkoušky:	9.12.2024
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Stopky Papírový zápisník Experimentální kolejnice Topná tělesa 1000 W (6 ks) Sestava kontaktního uchycení topných těles	
3) Cíle zkoušky	
Cílem zkoušky bylo v první řadě ověření funkčnosti topných těles. Dále také ověření použitelnosti soustavy topných těles pro účely ohřevu experimentální kolejnice. Dalším cílem byla také zkouška kontaktního uchycení topných těles a ověření jeho použitelnosti pro účely experimentu.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"><li>1) Příprava experimentální kolejnice.</li><li>2) Instalace topných těles na kolejnici pomocí kontaktního uchycení.</li><li>3) Zapojení elektrického obvodu dvojice topných těles umístěných na hlavě kolejnice.</li><li>4) Příprava stopek.</li><li>5) Příprava bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574.</li><li>6) Realizace nulového odečtu teploty experimentální kolejnice; měření teploty před zahájením zkoušky v měřících profilech 2,4,6,8, a to na hlavě, stojině a patě.</li><li>7) Zapojení dvojice horních topných těles do elektrické sítě, spuštění stopek, zahájení zkoušky ohřevu.</li><li>8) Po 2:19 [m:ss] od zahájení zkoušky ohřevu Ek došlo k výpadku proudového chrániče vlivem porušení izolačního odporu.</li><li>9) Okamžitě byla zaznamenána aktuální teplota kolejnice dle postupu v bodě 6, a také teplota topných těles.</li><li>10) Předčasné ukončení zkoušky ohřevu.</li></ol>	

## Příloha 13.1. Zdrojová data

Ve chvíli výpadku proudového chrániče se maximální teplota topných těles pohybovala kolem 240 °C.

Hlava řez 2	Hlava řez 4	Hlava řez 6	Hlava řez 8	Čas měření
16,7	16,7	16,7	16,7	0:00
Výpadek proudového chrániče vlivem porušení izolačního odporu.				2:19
22,9	17,9	18,2	22,2	2:19
Stojina řez 2	Stojina řez 4	Stojina řez 6	Stojina řez 8	Čas měření
16,7	16,7	16,7	16,7	0:00
Výpadek proudového chrániče vlivem porušení izolačního odporu.				2:19
18,0	17,5	17,6	18,4	2:19
Pata řez 2	Pata řez 4	Pata řez 6	Pata řez 8	Čas měření
16,6	16,6	16,7	16,6	0:00
Výpadek proudového chrániče vlivem porušení izolačního odporu.				2:19
17,6	17,6	17,6	17,9	2:19

## Příloha 13.2. Závěr

Zkouška ohřevu byla předčasně ukončena. Nedošlo k významnému ohřátí kolejnice. Pro správné vyhodnocení zkoušky chybí potřebné množství naměřených dat.

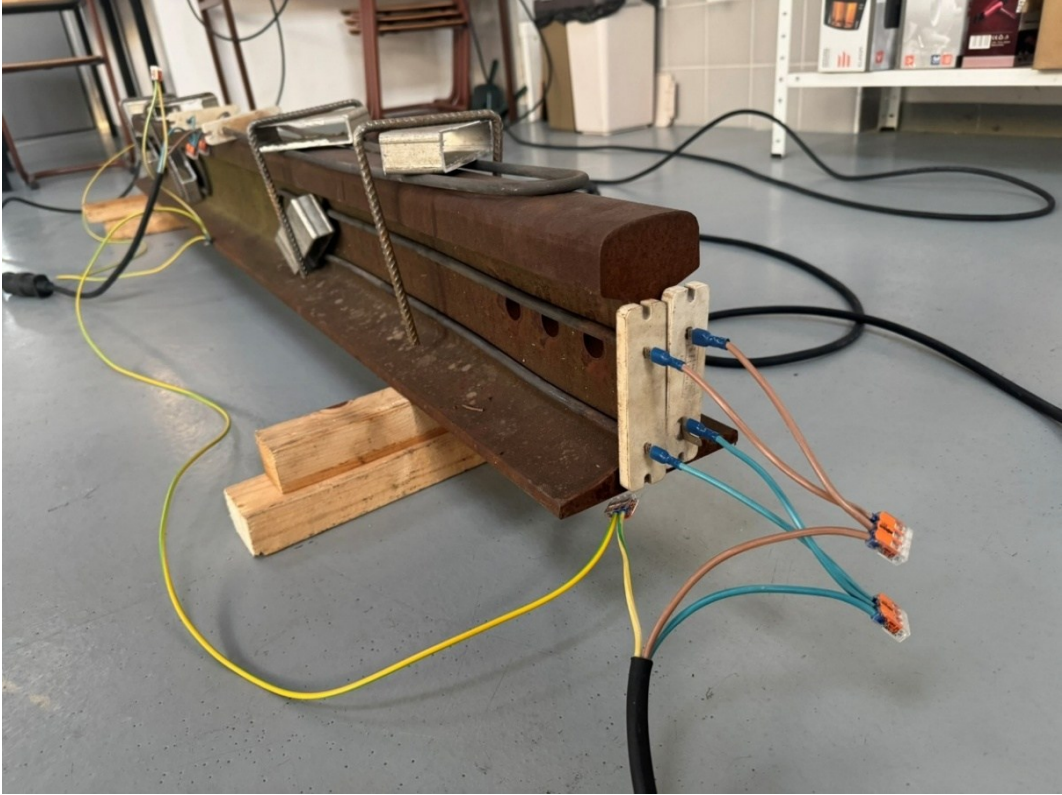
Funkčnost topných těles byla částečně prokázána s ohledem na porušení izolačního odporu.

Použitelnost soustavy topných těles k ohřevu kolejnice nebyla prokázána z důvodu nedostatečného množství naměřených dat.

Použitelnost kontaktního uchycení topných těles se po mechanické stránce osvědčilo. Topná tělesa drží pevně na místě. Nevýhodou je pouze špatná manipulace při instalaci a odinstalaci tohoto způsobu upevnění. Po elektrotechnické stránce je použití kontaktního uchycení nevhodné, neboť nezajišťuje elektricky izolované spojení topných těles s experimentální kolejnicí.

Pro další zkoušky ohřevu bude nutné zajistit izolační odpor topných těles i při jejich ohřevu, nebo zajistit elektricky nevodivé spojení topných těles s experimentální kolejnicí.

**Příloha 13.3. Fotodokumentace**



**Příloha 13.4. Deník zkoušky**

	Pohledová plocha		Paralelní spojení				HORNÍ SPIRÁLA		ČAS	
	1	2	3	4	5	6	7	8		9
HLAVA		16,7		16,7		16,7		16,7		0,00
STOJINA		16,7		16,7		16,7		16,7		0,00
PATA		16,6		16,6		16,7		16,6		0,00
HLAVA		22,9		17,9		16,2		22,2		2,19
STOJINA		18,0		17,5		17,6		18,4		Spínací cca 240°C
PATA		17,6		<del>17,6</del>		17,6		17,5		cca 3min OFF
HLAVA				9						
STOJINA										
PATA										
HLAVA										
STOJINA										
PATA										
HLAVA										
STOJINA										
PATA										

VÝPĚDEK PROUDOVÉ AG CHARÁ NIČE

## Příloha 14. Ověřovací zkouška funkčnosti topných těles a digitálního termostatu s teplotní sondou

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Ověřovací zkouška funkčnosti topných těles a digitálního termostatu s teplotní sondou
Datum zkoušky:	13.12.2024
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Topná tělesa 1000 W (2 ks) Digitální termostat s teplotní sondou	
3) Cíle zkoušky	
Hlavním cílem zkoušky ohřevu dvojice topných těles umístěných mimo experimentální kolejnici bylo ověření, zda nedojde k výpadku proudového chrániče při umístění topných na elektricky nevodivém podkladu. Dalším cílem bylo ověření funkčnosti digitálního termostatu s teplotní sondou a jeho použitelnosti pro účely experimentu.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"><li>1) Příprava dvojice topných těles na dřevěnou paletu.</li><li>2) Zapojení elektrického obvodu topných těles společně s digitálním termostatem.</li><li>3) Instalace teplotní sondy digitálního termostatu na jedno z topných těles.</li><li>4) Nastavení teploty sepnutí na 100 °C a vypnutí na 120 °C.</li><li>5) Zapojení dvojice topných těles do elektrické sítě, zahájení ohřevu.</li><li>6) Po několika cyklech sepnutí a vypnutí digitálního termostatu topná tělesa odpojena.</li><li>7) Ukončení ověřovací zkoušky funkčnosti.</li></ol>	

### Příloha 14.1. Závěr

Ověřovací zkouška funkčnosti topných těles proběhla podle plánu, bez výpadku proudového chrániče. Tato skutečnost podpořila podezření na porušení izolačního odporu topných těles při jejich ohřevu.

Digitální termostat fungoval dle očekávání až na opožděné reakce při spínání a vypínání, což mělo za následek vyšší výkyvy teplot, než byly nastaveny. Použití digitálních termostatů s teplotní sondou pro regulaci výkonu topných těles se při vhodném nastavení jeví jako vhodné řešení.

**Příloha 14.2. Fotodokumentace**





## Příloha 15. Ověřovací zkouška kontaktního uchycení topných těles s izolačními prvky

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Ověřovací zkouška kontaktního uchycení topných těles s izolačními prvky
Datum zkoušky:	13.12.2024
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Stopky Papírový zápisník Experimentální kolejnice Topná tělesa 1000 W (2 ks) Digitální termostat s teplotní sondou Sestava kontaktního uchycení topných těles Dřevěné podložky	
3) Cíle zkoušky	
Cílem zkoušky ohřevu bylo zjištění, zda zafunguje doplnění kontaktního uchycení topných těles o dřevěné, elektricky nevodivé podložky ve vztahu k předchozím výpadkům proudového chrániče kvůli porušení izolačního odporu topných těles.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Instalace dvojice topných těles na experimentální kolejnici pouze z jedné strany a pouze na stojinu kolejnice</li> <li>2) Zajištění dvojice topných těles pomocí kontaktního uchycení doplněného o dřevěné podložky</li> <li>3) Zapojení elektrického obvodu topných těles společně s digitálním termostatem.</li> <li>4) Instalace teplotní sondy digitálního termostatu na jedno z topných těles.</li> <li>5) Nastavení teploty sepnutí na 117 °C a vypnutí na 120 °C.</li> <li>6) Příprava stopek.</li> <li>7) Příprava bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574.</li> <li>8) Realizace nulového odečtu teploty experimentální kolejnice; měření teploty před zahájením zkoušky v měřících profilech 1,2,3, a to na hlavě, stojině a patě.</li> <li>9) Zapojení ohřevné soustavy do elektrické sítě, zapnutí stopek, zahájení ohřevu</li> <li>10) Výpadek proudového chrániče několik sekund po zahájení ohřevu</li> <li>11) Vypojení soustavy ohřevu z elektrické sítě, ukončení zkoušky ohřevu</li> </ol>	

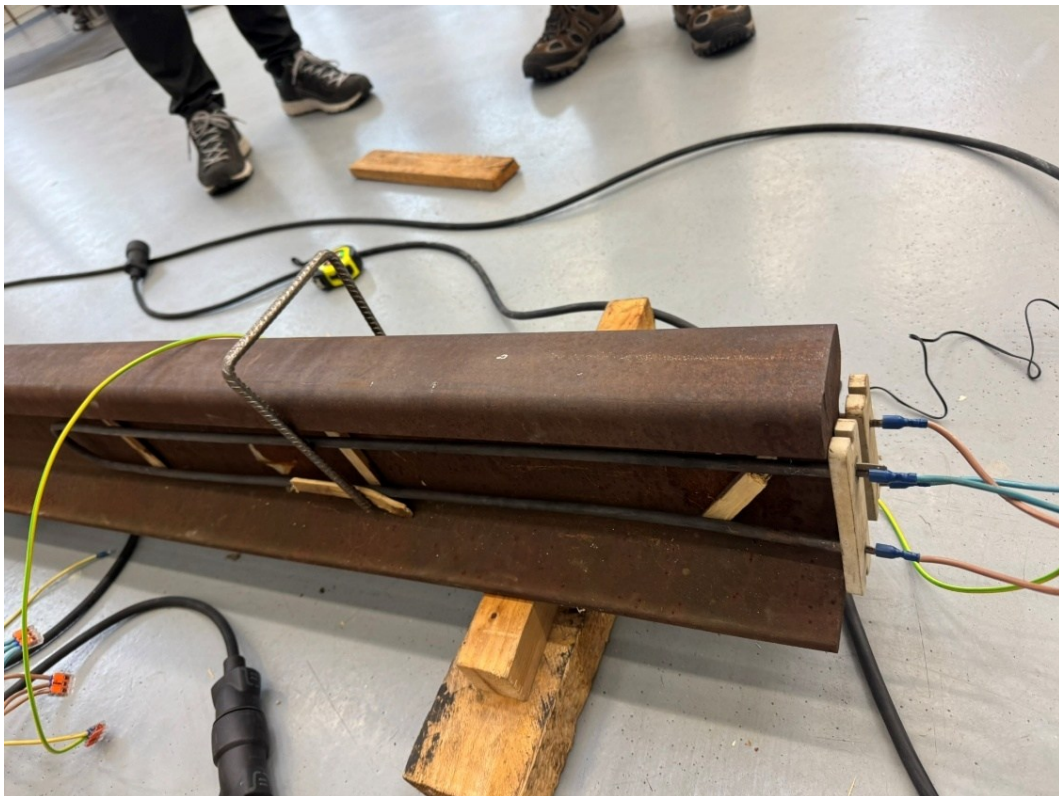
### Příloha 15.1. Zdrojová data

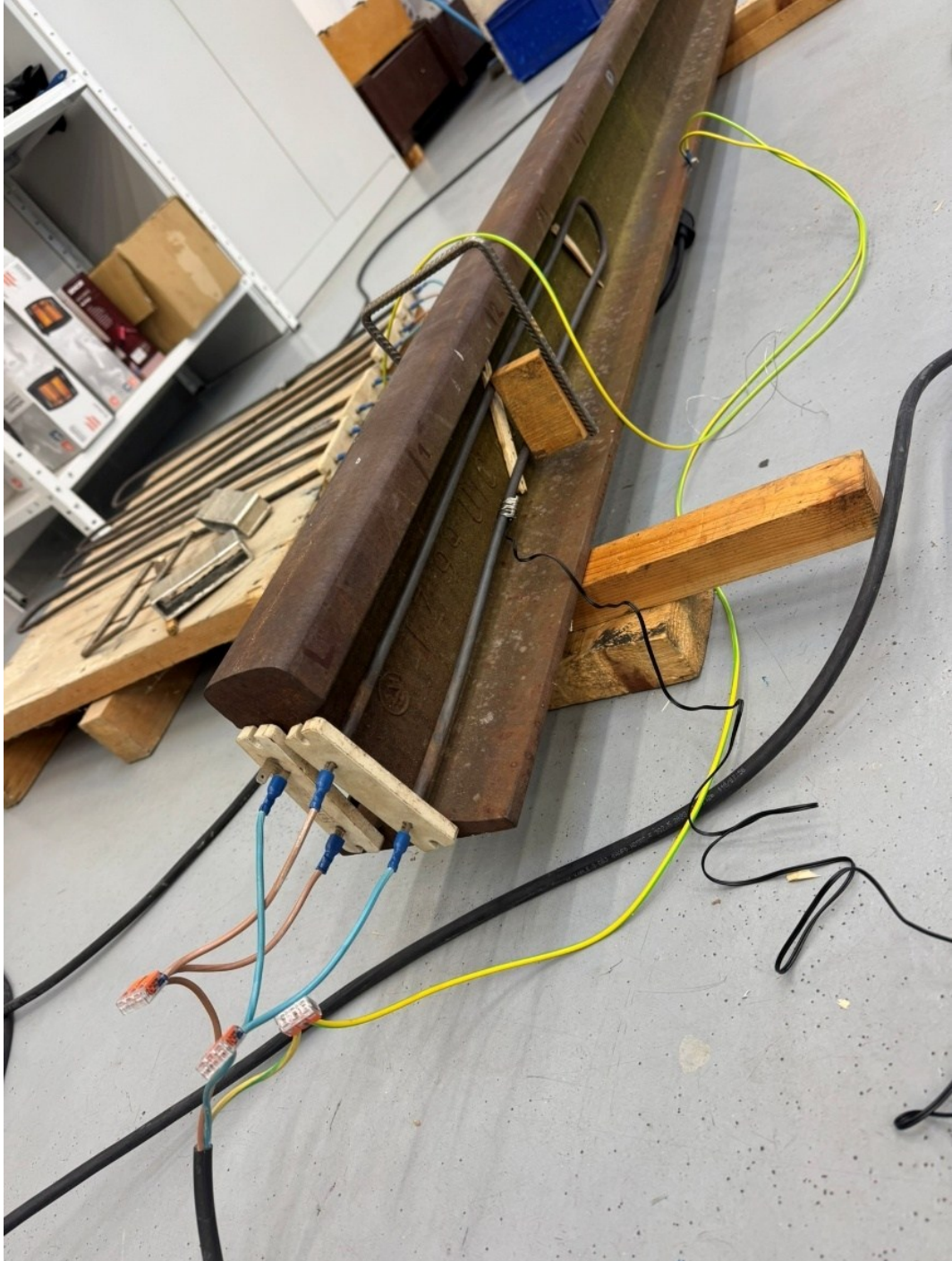
Hlava řez 1	Hlava řez 2	Hlava řez 3	Čas měření
20,5	20,3	20,0	0:00
Výpadek proudového chrániče několik sekund po zahájení			XX:XX
Stojina řez 1	Stojina řez 2	Stojina řez 3	Čas měření
20,8	20,7	20,3	0,00
Výpadek proudového chrániče několik sekund po zahájení			XX:XX
Pata řez 1	Pata řez 2	Pata řez 3	Čas měření
20,5	20,3	20,0	0:00
Výpadek proudového chrániče několik sekund po zahájení			XX:XX

### Příloha 15.2. Závěr

I přes snahu topná tělesa od experimentální kolejnice odizolovat, došlo k výpadku proudového chrániče. Použití kontaktního uchycení bylo na základě této zkoušky ohřevu definitivně označeno za nevhodné a bylo od něj upuštěno ve prospěch hledání jiného, elektricky izolovaného řešení.

### Příloha 15.3. Fotodokumentace





**Příloha 15.4. Deník zkoušky**

1 STRANA, POUZE STRANY, 13. 12. 2024

Č. odečtu	Č. řezu	11	12	13	8	Čas měření	Poznámky
	Místo měření						
1	Hlava	205	203	200		0,00	PROUD CHRAŇIČ  PODLOŽKY 3D 12 mm
	Stojina	208	207	203		0,00	
	Pata	205	203	200		0,00	
2	Hlava						
	Stojina						
	Pata						
3	Hlava						
	Stojina						
	Pata						
4	Hlava						
	Stojina						
	Pata						
5	Hlava						
	Stojina						
	Pata						
6	Hlava						
	Stojina						
	Pata						
7	Hlava						
	Stojina						
	Pata						
8	Hlava						
	Stojina						
	Pata						
9	Hlava						
	Stojina						
	Pata						
10	Hlava						
	Stojina						
	Pata						
11	Hlava						
	Stojina						
	Pata						
12	Hlava						
	Stojina						
	Pata						
13	Hlava						
	Stojina						
	Pata						
14	Hlava						
	Stojina						
	Pata						
15	Hlava						
	Stojina						
	Pata						

PARALELNÍ ZK POSĚNÍ

SPIŇÁNÍ SPIRÁLY  
117 ~ 120.

## Příloha 16. Zkouška maximální dosažitelné teploty topného tělesa

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška maximální dosažitelné teploty topného tělesa
Datum zkoušky:	8.1.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Topné těleso 1000 W (1 ks)	
3) Cíle zkoušky	
Cílem zkoušky ohřevu pouze jednoho topného tělesa bylo zjištění maximální dosažitelné teploty na povrchu topného tělesa.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"><li>1) Příprava topného tělesa na dřevěnou paletu.</li><li>2) Podložení topného tělesa kousky keramické dlažby</li><li>3) Zapojení elektrického obvodu topného tělesa</li><li>4) Zapojení topného tělesa do elektrické sítě, zahájení ohřevu.</li><li>5) Dlouhodobý ohřev za průběžné kontroly teploty topného tělesa na různých místech bezkontaktním laserovým teploměrem Fluke 574</li><li>6) Ukončení zkoušky maximální dosažitelné teploty topných těles po stabilizaci teploty topného tělesa na maximální hodnotě 424 °C</li></ol>	

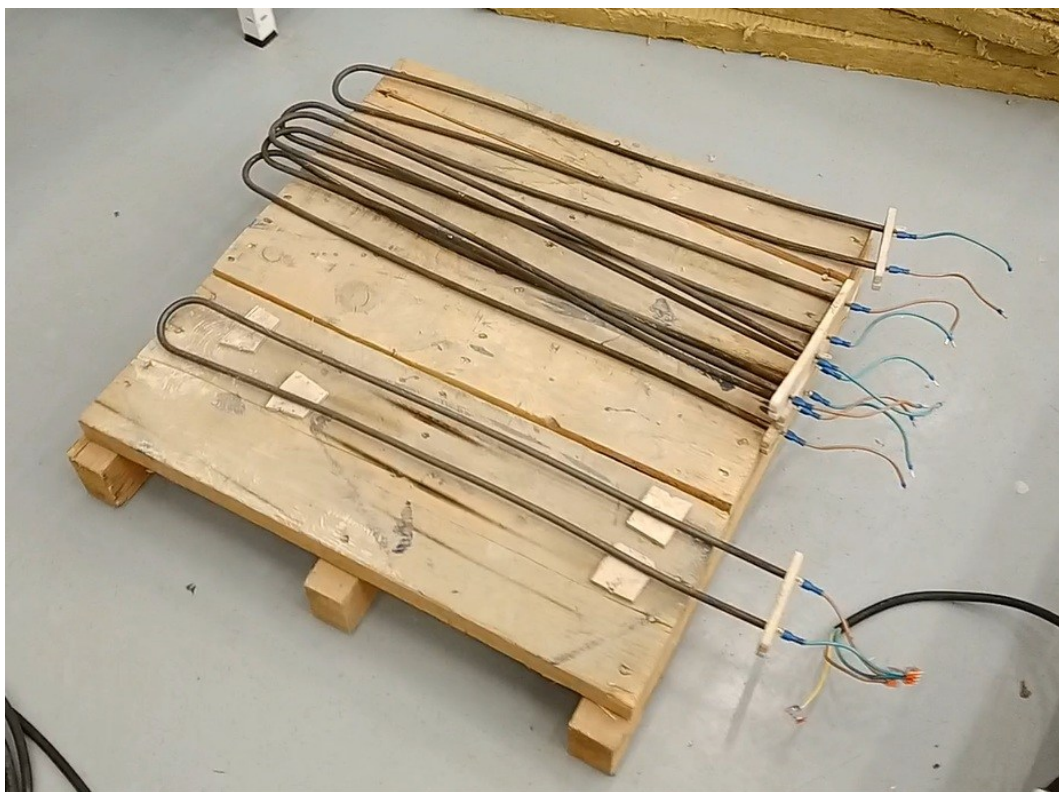
### Příloha 16.1. Závěr

V průběhu zkoušky byla naměřena maximální teplota topného tělesa 424 °C. Zkouška proběhla při umístění topného tělesa v otevřeném prostoru, takže topné těleso odevzdávalo značné množství tepla do okolního prostředí.

Byla také zaznamenána distribuce tepla po délce topného tělesa. V místě, kde je topné těleso připojeno na hnědý vodič (fáze), je teplota nejnižší. Po délce se teplota postupně zvyšuje, ale v blízkosti připojení topného tělesa na modrý vodič (nulový) se teplota opět snižuje. Maximální teplota byla naměřena zhruba ve třech čtvrtinách délky od připojení k fázi, tedy blíže k připojení nulového vodiče.

Znalost maximální dosažitelné teploty topných těles pomůže s dimenzováním bezkontaktního, elektricky izolovaného uchycení topných těles.

## Příloha 16.2. Fotodokumentace



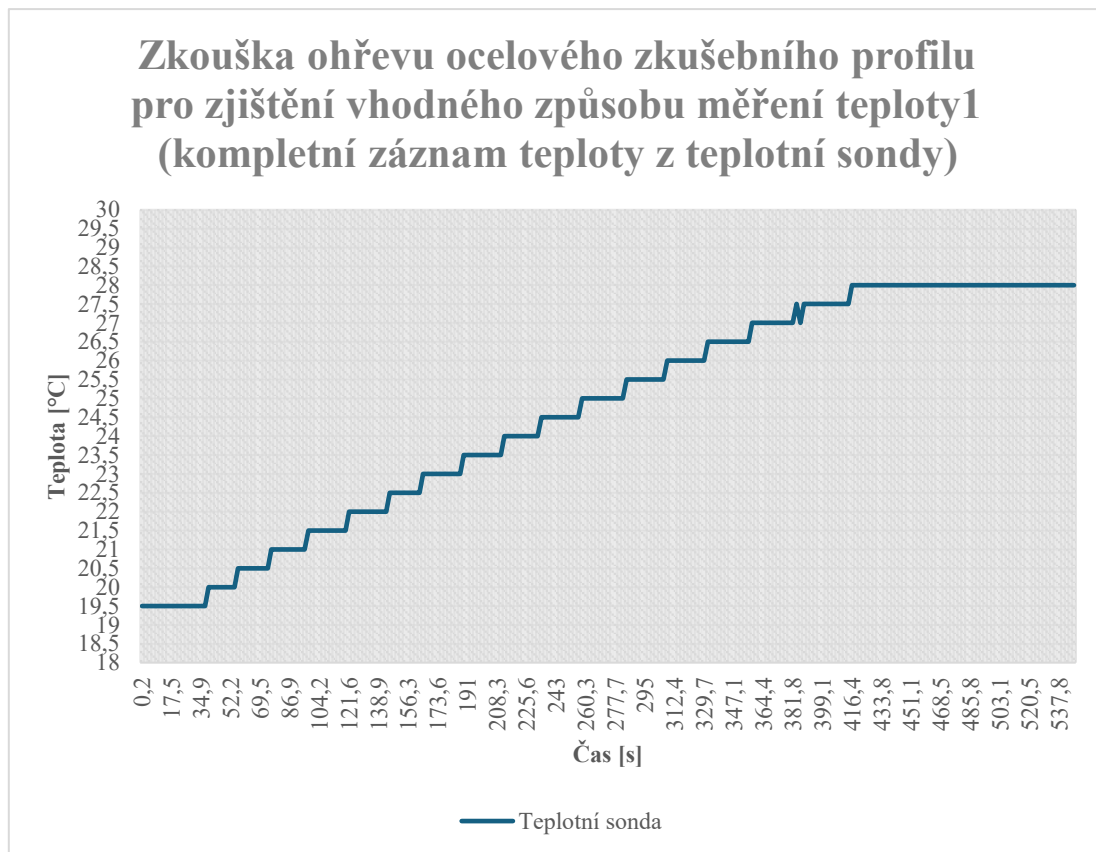
## Příloha 17. Zkouška ohřevu ocelového zkušebního profilu pro zjištění vhodného způsobu měření teploty

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu ocelového zkušebního profilu pro zjištění vhodného způsobu měření teploty
Datum zkoušky:	8.1.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Stopky Fén Ocelový zkušební profil Soustava teplotních sond DS18B20	
3) Cíle zkoušky	
<p>Cílem zkoušky bylo zjistit rozdíl teploty na povrchu s teplotou uvnitř ocelového zkušebního profilu a orientovat se tak v prostupu tepla ocelí při zahřívání. Určení nejvhodnějšího způsobu měření teploty experimentální kolejnici pro další měření. Dalším cílem bylo ověření funkčnosti sestavy teplotních sond DS18B20, kterými se plánovalo osadit experimentální kolejnici a nahradit tak měření teploty bezkontaktním laserovým teploměrem Fluke 574.</p>	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Příprava ocelového zkušebního profilu</li> <li>2) Příprava soustavy teplotních sond DS18B20</li> <li>3) Osazení ocelového zkušebního profilu jednou teplotní sondou DS18B20 na teplo vodnou pastu Arctic MX – 4, teplotní sonda umístěna uprostřed ocelového zkušebního tělesa, ostatní teplotní sondy zapojeny, avšak volně loženy mimo zkušební těleso</li> <li>4) Příprava záznamového softwaru teplotních sond DS18B20</li> <li>5) Příprava stopek</li> <li>6) Příprava fěnu</li> <li>7) Zahájení ohřevu fénem na jedné straně zkušební ocelového tělesa, spuštění stopek, zahájení zkoušky ohřevu</li> <li>8) Kontinuální záznam teploty ze všech osazených teplotních sond DS18B20 do záznamového softwaru</li> <li>9) Průběžná kontrola teploty na povrchu ocelového zkušební tělesa bezkontaktním laserovým teploměrem Fluke 574</li> <li>10) Po dostatečném ohřevu pro zjištění rozdílu mezi povrchovou a vnitřní teplotou ukončení zkoušky ohřevu</li> </ol>	

### Příloha 17.1. Zdrojová data

Čas [s]	Teplotní sonda [°C]
0,2	19,5
39,2	20
56,5	20,5
76	21
97,7	21,5
121,6	22
145,4	22,5
164,9	23
188,8	23,5
212,6	24
234,3	24,5
258,2	25
284,2	25,5
308	26
331,9	26,5
357,9	27
383,9	27,5
388,3	27,5
416,4	28
546,5	28

## Příloha 17.2. Grafy



## Příloha 17.3. Závěr

Při zkoušce ohřevu ocelového zkušebního tělesa byla ověřena funkčnost soustavy teplotních sond DS18B20 společně se záznamovým softwarem. Soustava fungovala bezproblémově, osvědčila se pro osazení a na experimentální kolejnici.

Při občasné kontrole povrchové teploty na straně ocelového zkušebního tělesa bez ohřevu, tj. odvrácená strana byla zaznamenána rozdílná teplota v průměru o 0,5 °C nižší jako teplota uvnitř materiálu. Tyto teploty spolu v čase při zahřívání korespondovali. Bylo také potvrzeno, že teplota uvnitř ocelového zkušebního profilu není tolik ovlivněna náhlými teplotními změnami okolí, oproti teplotě na povrchu materiálu. Měření teploty uvnitř materiálu pomocí teplotních sond tedy více vypovídá o skutečné teplotě zkoumaného ocelového profilu. Použití teplotních sond pro zjišťování teploty experimentální kolejnice je žádoucí.

## Příloha 17.4. Fotodokumentace



## Příloha 18. První zkouška ohřevu Ek s použitím elektricky izolovaného uchycení topných těles

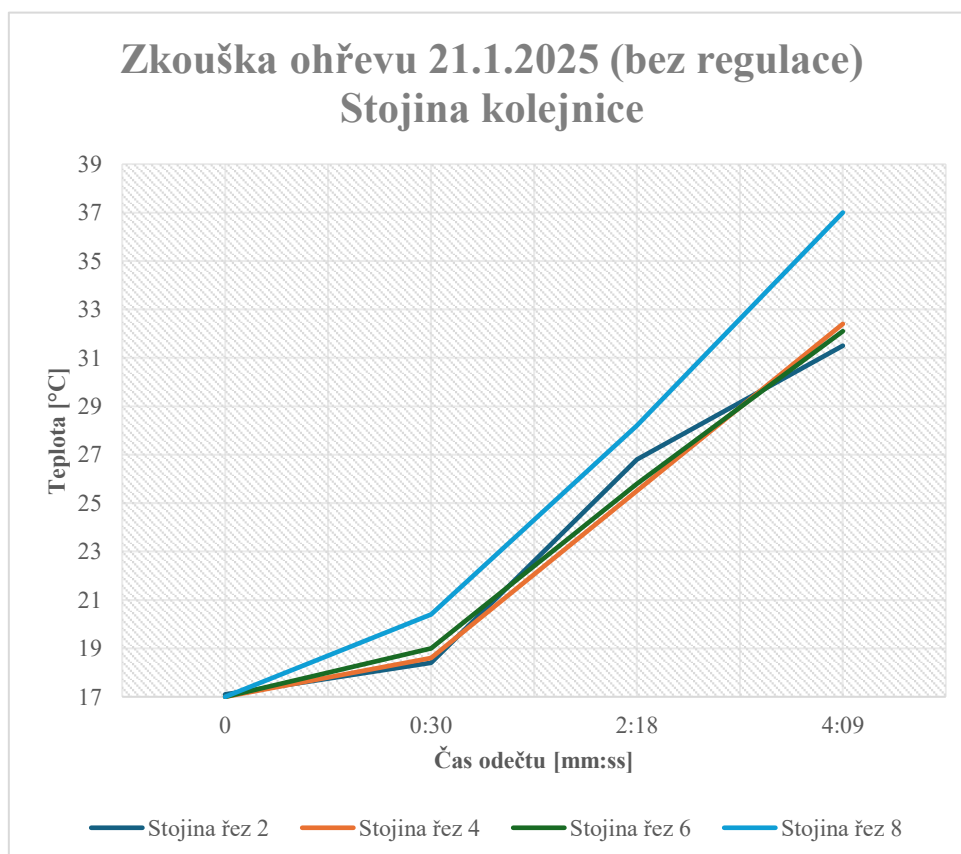
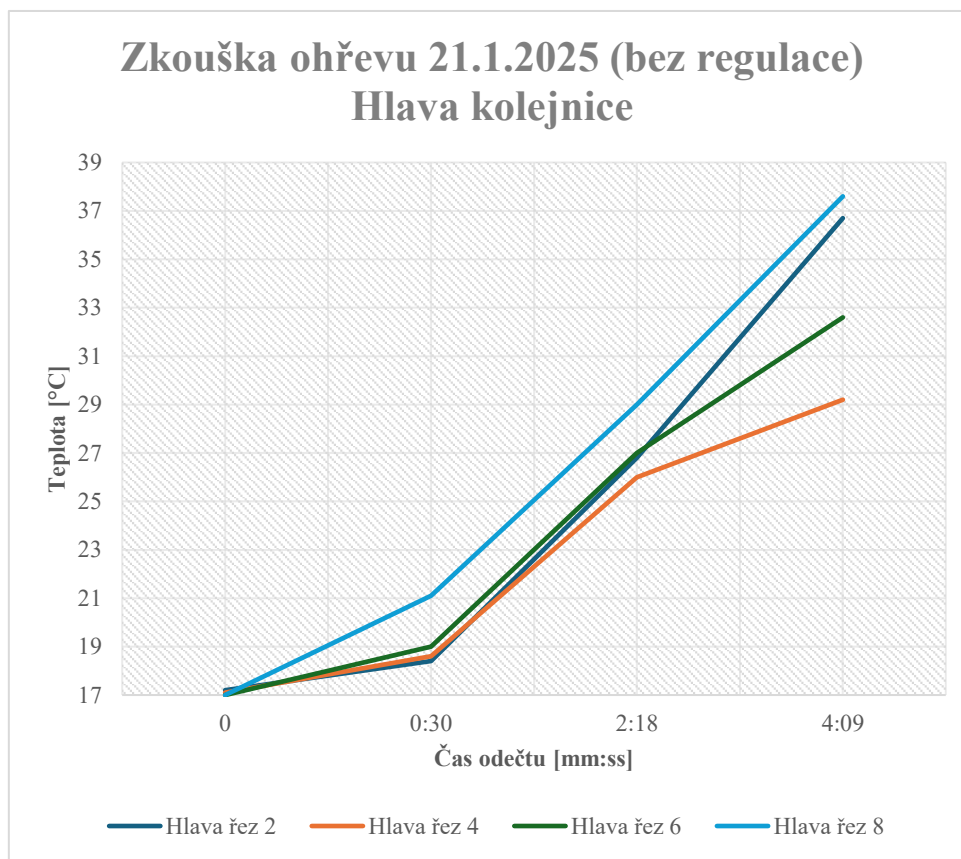
1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	První zkouška ohřevu Ek s použitím elektricky izolovaného uchycení topných těles
Datum zkoušky:	21.1.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Stopky Papírový zápisník Experimentální kolejnice Topná tělesa 1000 W (6 ks) Elektricky izolované uchycení topných těles	
3) Cíle zkoušky	
Hlavním cílem této zkoušky ohřevu bylo ověření funkčnosti elektricky izolovaného uchycení topných těles, a to v režimu bez regulace výkonu topných těles.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Příprava experimentální kolejnice.</li> <li>2) Příprava a instalace topných těles pomocí elektricky izolovaného uchycení.</li> <li>3) Zapojení elektrického obvodu topných těles.</li> <li>4) Příprava stopek.</li> <li>5) Příprava bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574.</li> <li>6) Realizace nulového odečtu teploty experimentální kolejnice; měření teploty před zahájením zkoušky v měřících profilech 2,4,6,8, a to na hlavě, stojině a patě.</li> <li>7) Zapojení ohřevné soustavy do elektrické sítě, zapnutí stopek, zahájení ohřevu</li> <li>8) Průběžné měření teploty pomocí bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 a následný záznam naměřených hodnot do deníku zkoušky</li> <li>9) Průběžný záznam teploty na povrchu topných těles</li> <li>10) Zhruba po pěti minutách ohřevu zaznamenáno červenání topných těles v místě elektricky izolovaného uchycení topných těles (místo kontaktu topných těles s minerální vatou)</li> <li>11) Vypojení soustavy ohřevu z elektrické sítě, ukončení zkoušky ohřevu z bezpečnostních důvodů</li> </ol>	

## Příloha 18.1. Zdrojová data

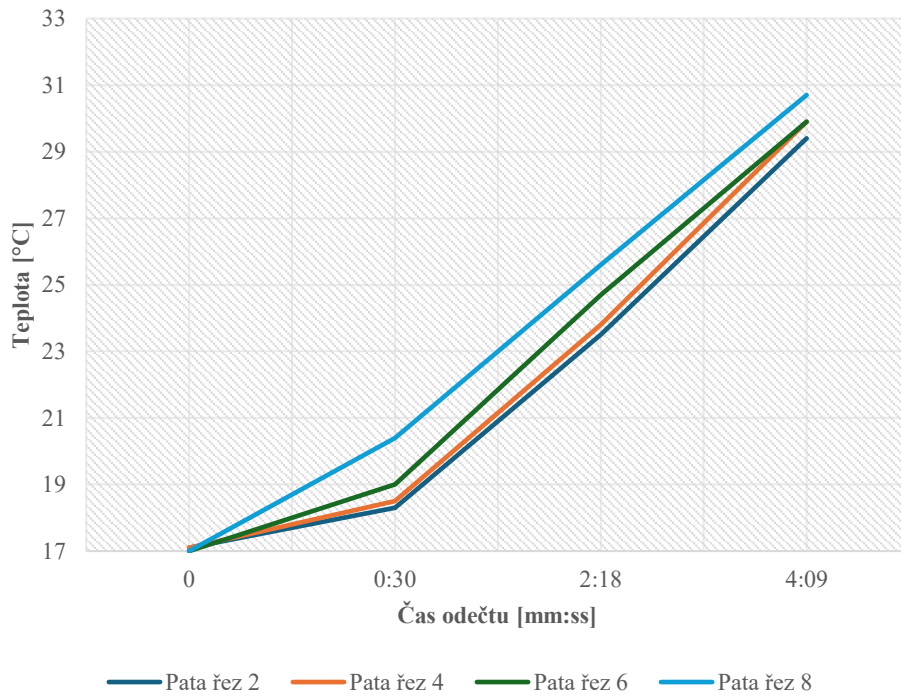
Hlava řez 2	Hlava řez 4	Hlava řez 6	Hlava řez 8	Čas měření
17,2	17,1	17	17	0
18,4	18,6	19	21,1	0:30
26,8	26	27	29	2:18
36,7	29,2	32,6	37,6	4:09
Stojina řez 2	Stojina řez 4	Stojina řez 6	Stojina řez 8	Čas měření
17,1	17	17	17	0
18,4	18,6	19	20,4	0:30
26,8	25,5	25,8	28,2	2:18
31,5	32,4	32,1	37	4:09
Pata řez 2	Pata řez 4	Pata řez 6	Pata řez 8	Čas měření
17,1	17,1	17	17	0
18,3	18,5	19	20,4	0:30
23,5	23,8	24,7	25,6	2:18
29,4	29,9	29,9	30,7	4:09

Spirála 1	Spirála 2	Spirála 3	Spirála 4	Spirála 5	Spirála 6	Čas měření
17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,2	0
200	201	240	236	284	330	0:30
320	300	355	297	368	424	2:18
369	336	374	378	388	465	4:09

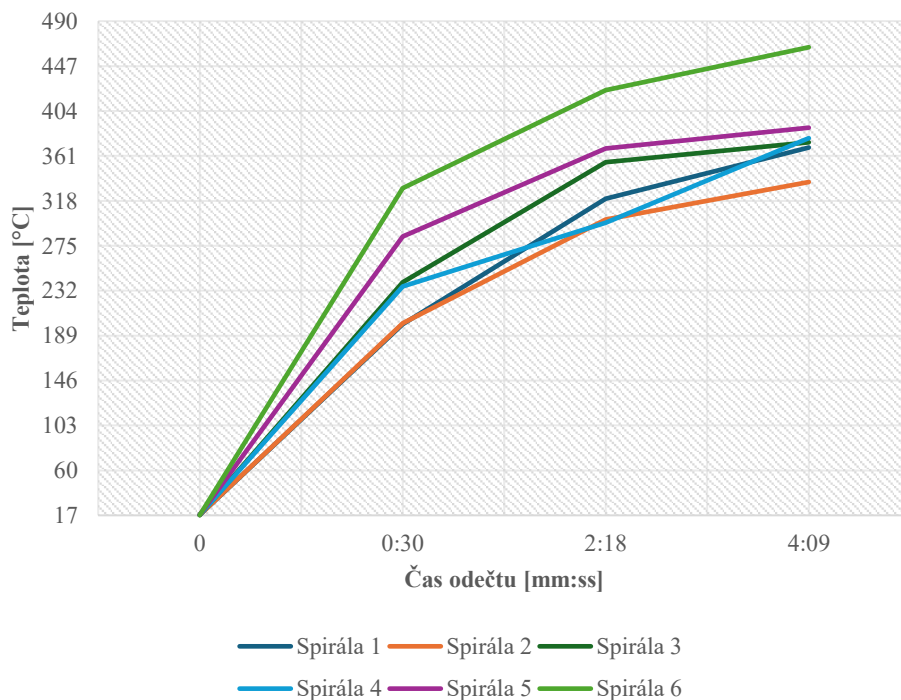
## Příloha 18.2. Grafy



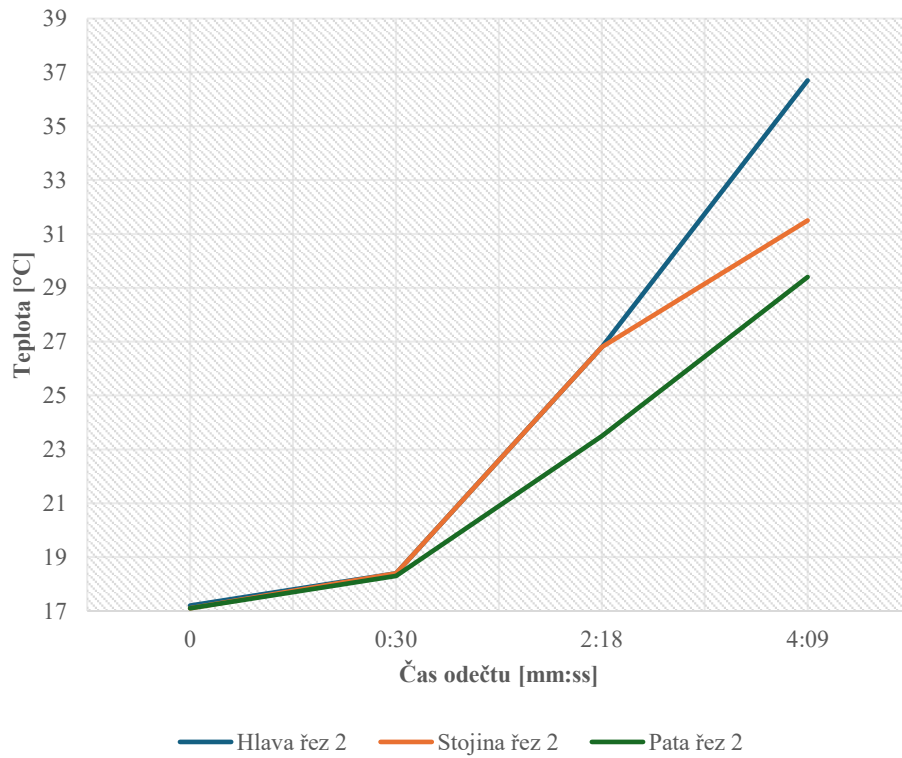
### Zkouška ohřevu 21.1.2025 (bez regulace) Pata kolejnice



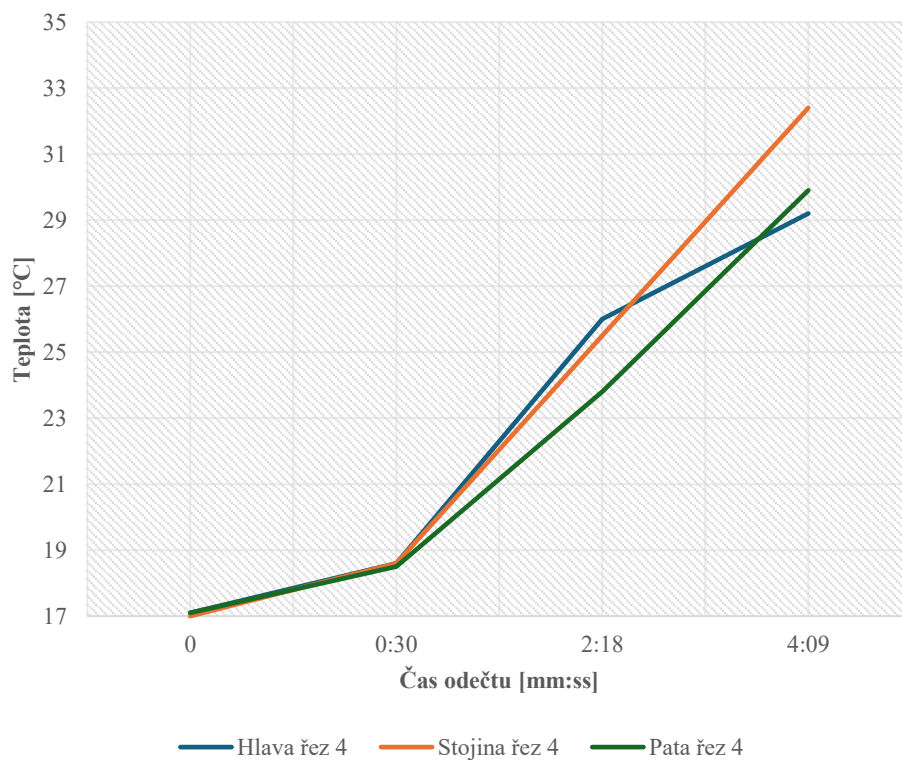
### Zkouška ohřevu 21.1.2025 (bez regulace) Topné spirály



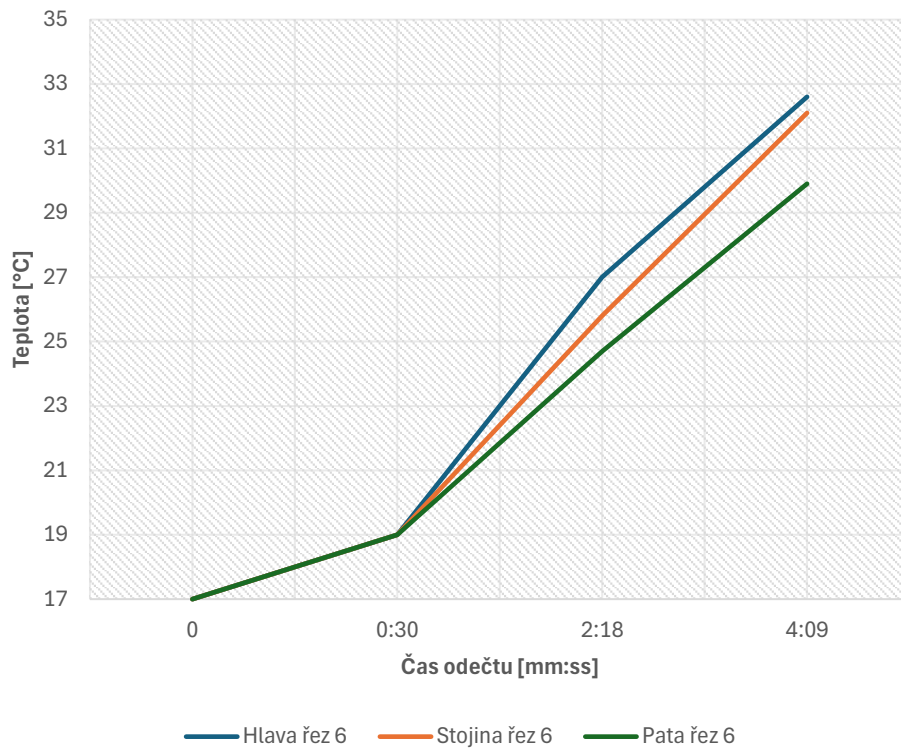
### Zkouška ohřevu 21.1.2025 (bez regulace) měřicí profil 2



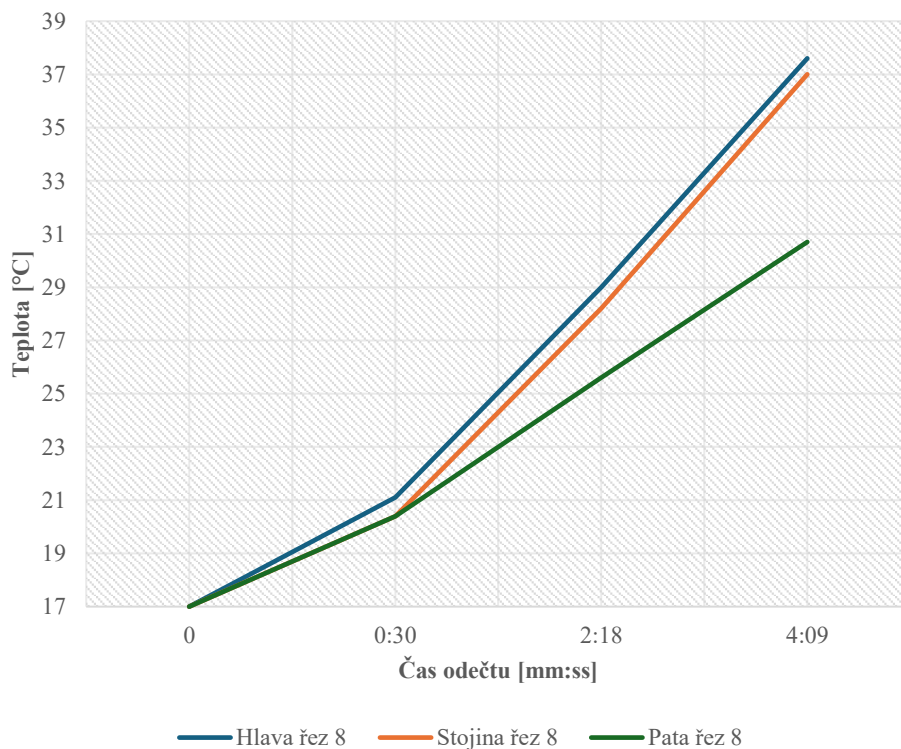
### Zkouška ohřevu 21.1.2025 (bez regulace) měřicí profil 4



### Zkouška ohřevu 21.1.2025 (bez regulace) měřicí profil 6



### Zkouška ohřevu 21.1.2025 (bez regulace) měřicí profil 8



### **Příloha 18.3. Závěr**

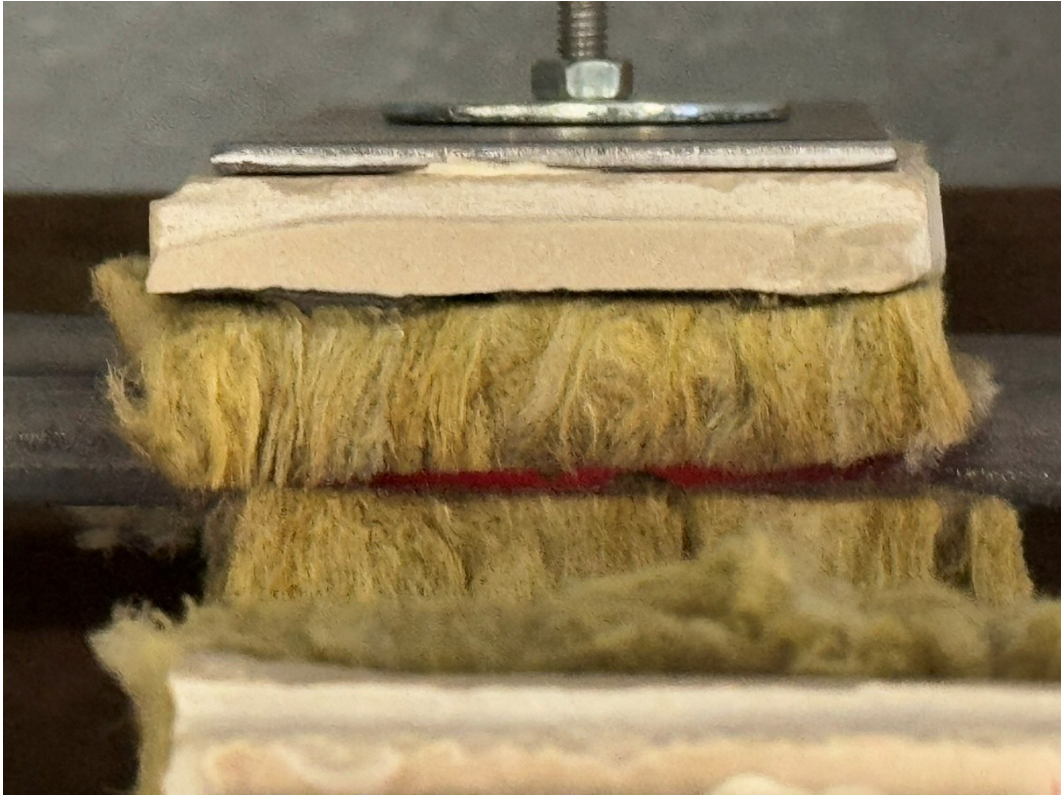
Zkouška ohřevu topných těles byla úspěšná. Byla ověřena funkčnost elektricky izolovaného uchycení topných těles. Díky tomuto způsobu uchycení nedošlo během zkoušky k výpadku proudového chrániče.

Z naměřených dat vyplývá, že pomocí šestice topných těles bez regulace výkonu lze ohřát experimentální kolejnici o požadovanou hodnotu 10 °C, a to ve velmi krátkém čase. Ba naopak takto rychlý ohřev je nežádoucí ve vztahu k rovnoměrné distribuci tepla v materiálu Ek, a také ve vztahu k pozdějším experimentům, kde je preferován spíše pomalejší ohřev s plynulým nárůstem mechanického napětí.

Regulace výkonu topných těles je na základě výsledků této zkoušky ohřevu velmi žádoucí také z pohledu bezpečnosti. Teplota topných těles je při neregulovaném ohřevu příliš vysoká, což způsobuje jejich červenaní a s tím spojené riziko poškození celé sestavy, a případně i požáru.

### **Příloha 18.4. Fotodokumentace**





**Příloha 18.5. Deník zkoušky**

1. měření izolované sestavy

21.1.2025

Č. odečtu	Č. řezu	2	4	6	8	Čas měření	Poznámky Spirála			
	Místo měření						1	2	3	
1	Hlava	17,2	17,1	17,0	17,0	0	1 17,4	2 17,4	3 17,4	X
	Stojina	17,1	17,0	17,0	17,0		4 17,4	5 17,4	6 17,2	
	Pata	17,1	17,1	17,0	17,0					
2	Hlava	18,4	18,6	18,0	18,7	0:30	1 200°	2 207	3 240	X
	Stojina	18,4	18,6	18,0	18,7		4 236	5 284	6 320	
	Pata	18,3	18,5	18,0	18,5					
3	Hlava	26,8	26,0	26,0	26,0	2:10	1 320	2 360	3 355	X
	Stojina	26,8	25,5	25,5	26,2		4 297	5 368	6 384	
	Pata	23,5	23,8	24,7	25,6					
4	Hlava	36,7	29,2	32,6	32,6	4:05	1 365	2 336	3 374	X
	Stojina	37,5	32,4	32,7	37,0		4 378	5 388	6 465	
	Pata	29,4	29,5	29,5	30,7					
5	Hlava	TESTY PŘERUŠENY →								X
	Stojina	→ OHŘEV SPIRALY V MÍSTĚ								
	Pata	DOŤYKY S VATOU → CĚRLENE								X
6	Hlava	TEPLOTA PŘÍLIŠ VYSOKO								X
	Stojina	↳ SPIRALA 6								
	Pata	↳ CĚRLENE 13707 SCORO								X
7	Hlava	VŠECHNY								X
	Stojina									
	Pata									
8	Hlava	cca 10 min 40,2								X
	Stojina									
	Pata									
9	Hlava	28,7	24,8	26,7	30,8	12 min	1 41,3	2 365	3 42,6	X
	Stojina	26,7	24,5	26,4	29,0		4 41,3	5 38,3	6 42,3	
	Pata	25,5	27,2	26,2	27,2					
10	Hlava									X
	Stojina									
	Pata									
11	Hlava									X
	Stojina									
	Pata									
12	Hlava									X
	Stojina									
	Pata									
13	Hlava									X
	Stojina									
	Pata									
14	Hlava									X
	Stojina									
	Pata									
15	Hlava									X
	Stojina									
	Pata									

## Příloha 19. Zkouška ohřevu ocelového zkušebního profilu pro zjištění vhodného způsobu měření teploty 2

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu ocelového zkušebního profilu pro zjištění vhodného způsobu měření teploty 2
Datum zkoušky:	21.1.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Stopky Fén Ocelový zkušební profil Soustava teplotních sond DS18B20 Papírový zápisník	
3) Cíle zkoušky	
Cílem zkoušky bylo zopakovat původní měření z 8.1.2025. Důvodem k opakovanému měření je nutnost zaznamenání teplotních hodnot naměřených na povrchu zkušebního profilu pro relevantní vyhodnocení naměřených dat.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Příprava ocelového zkušebního profilu</li> <li>2) Příprava soustavy teplotních sond DS18B20</li> <li>3) Osazení ocelového zkušebního profilu jednou teplotní sondou DS18B20 na teplovodnou pastu Arctic MX – 4, teplotní sonda umístěna uprostřed ocelového zkušební tělesa, ostatní teplotní sondy zapojeny, avšak volně loženy mimo zkušební těleso</li> <li>4) Příprava záznamového softwaru teplotních sond DS18B20</li> <li>5) Příprava stopek</li> <li>6) Příprava fénu</li> <li>7) Zahájení ohřevu fénem na jedné straně zkušební ocelového tělesa, spuštění stopek, zahájení zkoušky ohřevu</li> <li>8) Kontinuální záznam teploty ze všech osazených teplotních sond DS18B20 do záznamového softwaru</li> <li>9) Průběžné měření teploty na povrchu ocelového zkušební tělesa ve třech měřících profilech bezkontaktním laserovým teploměrem Fluke 574, následný záznam naměřených hodnot do papírového zápisníku</li> <li>10) Po dostatečném ohřevu pro zjištění rozdílu mezi povrchovou a vnitřní teplotou ukončení zkoušky ohřevu</li> </ol>	

## Příloha 19.1. Zdrojová data

Z důvodu velkého objemu naměřených dat z teplotní sondy jsou zde prezentovány pouze hodnoty odpovídající časům povrchových měření laserovým teploměrem.

Teplotní sonda [°C]	Profil 1 [°C]	Profil 2 [°C]	Profil 3 [°C]	Čas [s]
18,5	17	16,9	16,9	0
18,5	18,8	18,8	19,1	75
19,5	20	19,9	20,3	180
20	21,4	21,1	21,6	255
21	22,7	22,4	23,1	325
22	24,8	24,1	25	400
23	25,7	25,1	26	475
24	26,5	25,7	26,9	550
25	27,5	26,7	27,8	625
26	28,7	28	29	720
27	30	29,3	30,5	792
28	31,3	30,5	31,7	870
29	33	32	33,3	960
30	34,3	33,2	34,5	1065
31	35,4	34,2	35,6	1162
32	36,4	35,4	36,6	1265
33	37,7	36,5	37,6	1375
34	38,5	37,5	38,5	1475
35	39,3	38,3	39,3	1577
36,5	40,3	39,2	40,2	1690
37,5	41,3	40	41	1790
39	42	41	41,9	1937
40	43,5	42,4	43,1	2110
40,5	44,7	43,9	44,5	2215
41,5	46,1	45,1	45,9	2332
42,5	47,3	46,4	47,3	2465
44	47,7	47,2	48,1	2615

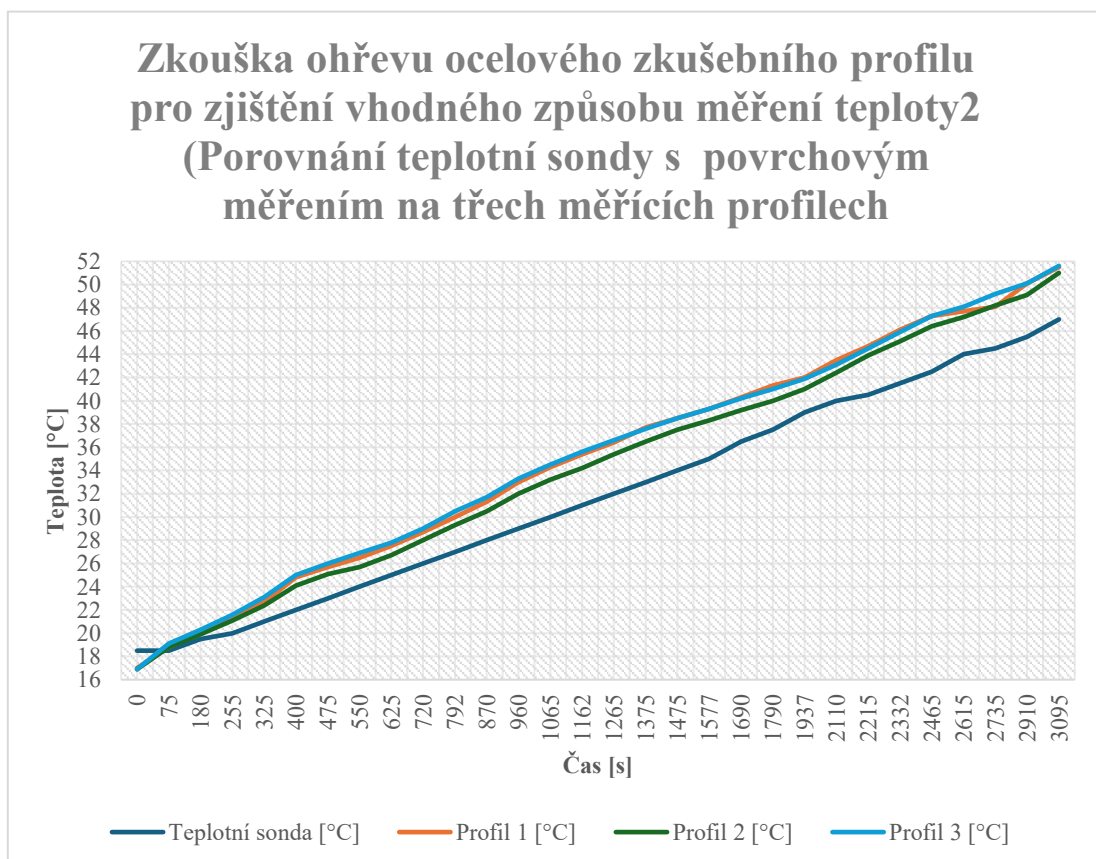
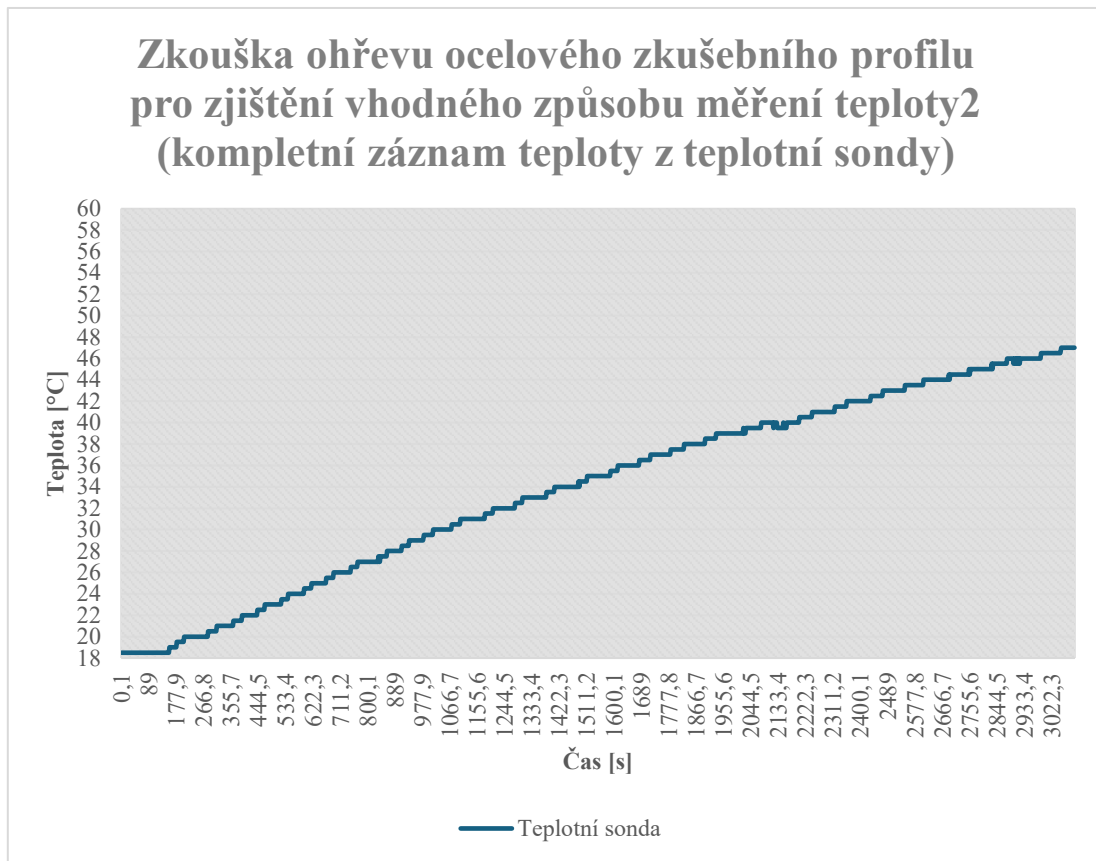
Teplotní sonda [°C]	Profil 1 [°C]	Profil 2 [°C]	Profil 3 [°C]	Čas [s]
44,5	48,1	48,2	49,2	2735
45,5	50,1	49,1	50,1	2910
47	51,5	51	51,6	3095

## Příloha 19.2. Výpočty a zpracování dat

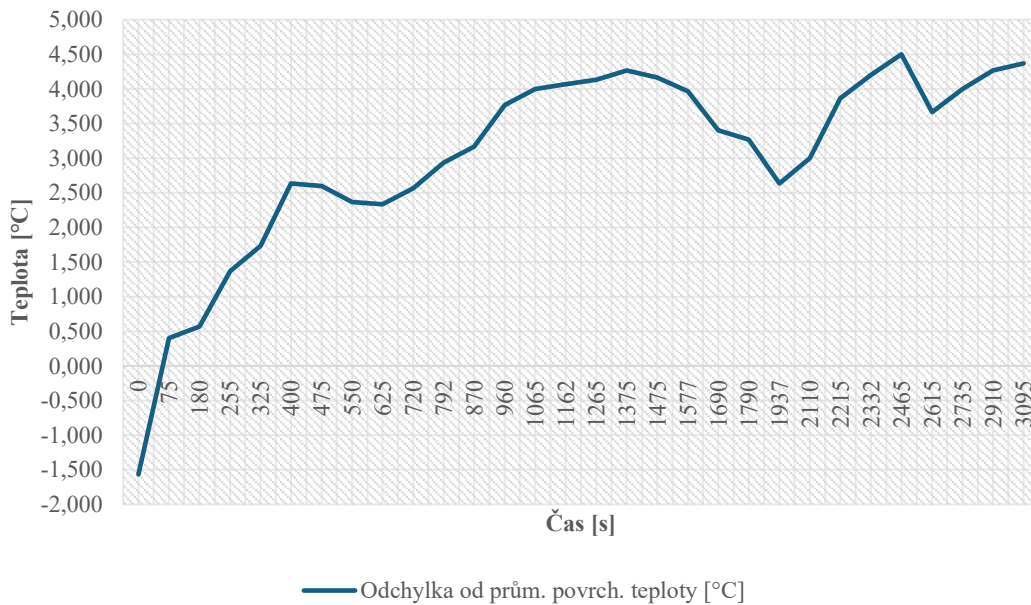
Teplotní sonda [°C]	Průměrná povrchová teplota [°C]	Odchylka od prům. povrch. teploty [°C]	Čas [s]
18,5	16,933	- 1,567	0
18,5	18,900	0,400	75
19,5	20,067	0,567	180
20	21,367	1,367	255
21	22,733	1,733	325
22	24,633	2,633	400
23	25,600	2,600	475
24	26,367	2,367	550
25	27,333	2,333	625
26	28,567	2,567	720
27	29,933	2,933	792
28	31,167	3,167	870
29	32,767	3,767	960
30	34,000	4,000	1065
31	35,067	4,067	1162
32	36,133	4,133	1265
33	37,267	4,267	1375
34	38,167	4,167	1475
35	38,967	3,967	1577
36,5	39,900	3,400	1690
37,5	40,767	3,267	1790
39	41,633	2,633	1937

Teplotní sonda [°C]	Průměrná povrchová teplota [°C]	Odchylka od prům. povrch. teploty [°C]	Čas [s]
40	43,000	3,000	2110
40,5	44,367	3,867	2215
41,5	45,700	4,200	2332
42,5	47,000	4,500	2465
44	47,667	3,667	2615
44,5	48,500	4,000	2735
45,5	49,767	4,267	2910
47	51,367	4,367	3095

## Příloha 19.3. Grafy



## Zkouška ohřevu ocelového zkušebního profilu pro zjištění vhodného způsobu měření teploty<sup>2</sup> (Odchylky průměrných hodnot teploty na povrchu od teplotní sondy)



### Příloha 19.4. Závěr

Zkouška ohřevu ocelového zkušebního tělesa proběhla dle plánu a přinesla očekávané výsledky.

Z analýzy naměřených dat je patrné, že povrchová teplota zkušebního tělesa při zahřívání koresponduje s vnitřní teplotou materiálu měřenou pomocí teplotní sondy. I přesto, že byla povrchová teplota měřena na straně, kde neprobíhalo zahřívání, byla tato teplota vždy vyšší než teplota uvnitř materiálu. Odchylka mezi teplotou uvnitř materiálu a průměrnou povrchovou teplotou má v čase zahřívání kladný rostoucí trend. Při dlouhodobém zahřívání se tedy povrch zkušebního profilu zahříval více a rychleji než vnitřek materiálu.

Povrchová teplota tedy více a rychleji reaguje na změny v ohřevu, zatímco teplota uvnitř materiálu je stálejší, není tolik citlivá na změny v ohřevu a tím pádem více vypovídá o skutečné teplotě materiálu.

## Příloha 19.5. Fotodokumentace



**Příloha 19.6. Deník zkoušky**

MĚŘENÍ FĚNĚM ZK. VZORKU

27. 1. 2025

Č. odečtu	Č. řezu	12	24	30	X	Čas měření	Poznámky
	Místo měření						
1	Hlava	17,0	16,9	16,9	/	0	
	Stojina	16,6	16,7	16,6	/	0	18,5
	Pata	18,8	18,8	19,1	/	1:15	20,0
2	Hlava	20,0	19,9	20,3	/	3:00	21,0
	Stojina	21,4	21,1	21,6	/	4:15	22,0
	Pata	22,7	22,4	23,1	/	5:26	23,0
3	Hlava	24,8	24,1	25,0	/	6:40	24,0
	Stojina	25,7	25,1	26,0	/	7:55	25,0
	Pata	26,5	25,7	26,9	/	9:10	26,0
4	Hlava	27,6	26,7	27,8	/	10:25	27,0
	Stojina	28,7	28,0	29,0	/	12:00	28,0
	Pata	30,0	29,3	30,5	/	13:12	29,0
5	Hlava	31,3	30,5	31,7	/	14:30	30,0
	Stojina	33,0	32,0	33,3	/	16:00	31,0
	Pata	34,3	33,2	34,5	/	17:45	32,0
6	Hlava	35,4	34,7	35,6	/	19:22	33,0
	Stojina	36,4	35,4	36,6	/	21:05	34,0
	Pata	37,7	36,5	37,6	/	22:55	35,0
7	Hlava	38,5	37,5	38,5	/	24:35	36,0
	Stojina	39,3	38,3	39,3	/	26:17	37,0
	Pata	40,3	39,2	40,2	/	28:10	38,0
8	Hlava	41,3	40,0	41,0	/	29:50	39,0
	Stojina	42,0	41,0	41,9	/	32:17	40,0
	Pata	43,5	42,4	43,1	/	35:10	41,0
9	Hlava	44,7	43,9	44,5	/	36:55	42,0
	Stojina	46,1	45,1	45,9	/	38:52	43,0
	Pata	47,3	46,4	47,3	/	41:05	44,0
10	Hlava	47,7	47,2	48,1	/	42:35	45,0
	Stojina	48,9	48,2	49,2	/	45:35	46,0
	Pata	50,1	49,7	50,1	/	48:30	47,0
11	Hlava	51,5	51,0	51,6	/	51:35	48,0
	Stojina				/		
	Pata				/		
12	Hlava				/		
	Stojina				/		
	Pata				/		
13	Hlava				/		
	Stojina				/		
	Pata				/		
14	Hlava				/		
	Stojina				/		
	Pata				/		
15	Hlava				/		
	Stojina				/		
	Pata				/		

SENZOR

STOJINA = Uprostřed vzorku

## Příloha 20. Zkouška ohřevu hlavy Ek s termostatickou regulací 1

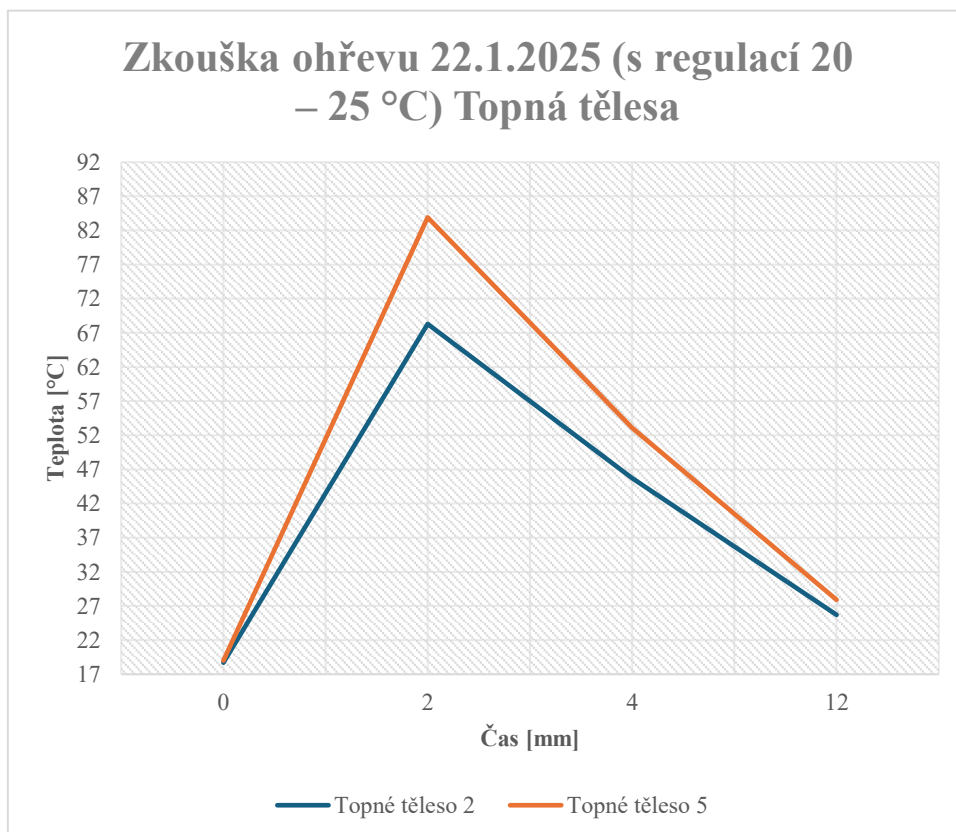
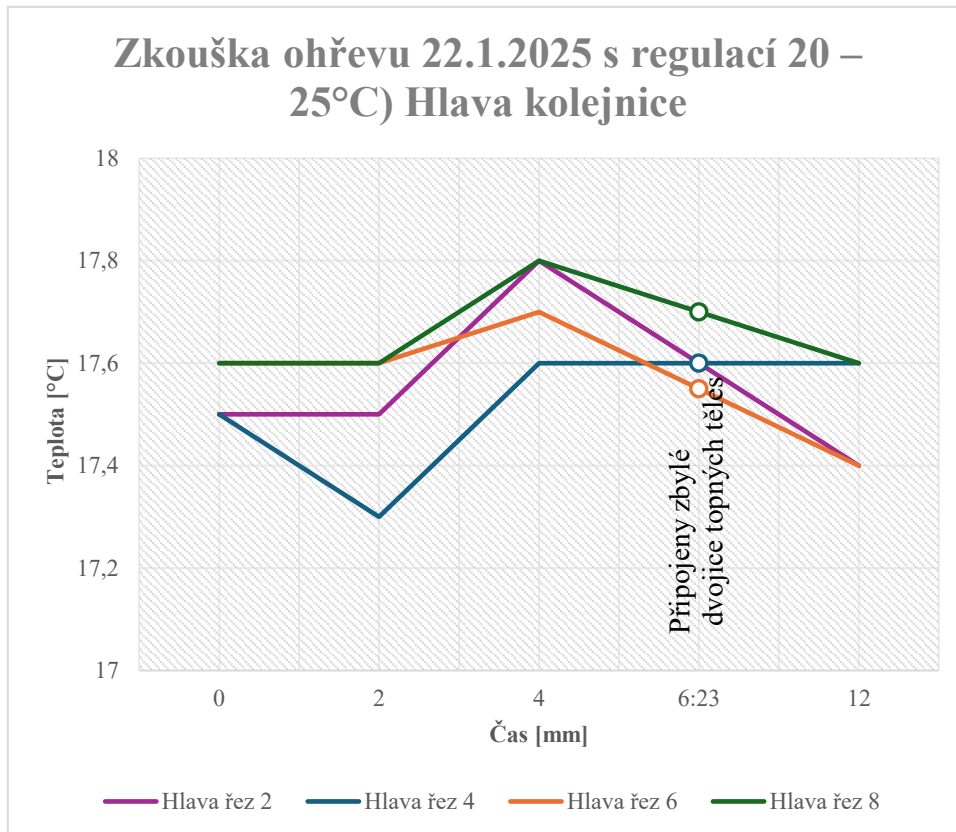
1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu hlavy Ek s termostatickou regulací 1
Datum zkoušky:	22.1.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Stopky Papírový zápisník Experimentální kolejnice Topná tělesa 1000 W (6 ks) Digitální termostat s teplotní sondou	
3) Cíle zkoušky	
Cílem zkoušky bylo zajistit pomalejší ohřev experimentální kolejnice použitím pouze jedné dvojice topných těles s regulací pomocí termostatu s teplotní sondou umístěných na hlavě Ek pomocí elektricky izolovaného uchycení. Dalším cílem zkoušky bylo ověřit, zda bude stačit nastavení spínání do digitálního termostatu na rozpětí 20–25 °C.	
4) Postup zkoušky	
1) Příprava experimentální kolejnice. 2) Příprava a instalace topných těles pomocí elektricky izolovaného uchycení. 3) Zapojení elektrického obvodu topných těles. 4) Instalace digitálního termostatu s teplotní sondou a nastavení spínání na rozpětí 20–25 °C. 5) Příprava stopek. 6) Příprava bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574. 7) Realizace nulového odečtu teploty experimentální kolejnice; měření teploty před zahájením zkoušky v měřicích profilech 2,4,6,8, a to na hlavě a na topných tělesech. 8) Zapojení ohřevné soustavy do elektrické sítě, zapnutí stopek, zahájení ohřevu 9) Průběžné měření teploty pomocí bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 a následný záznam naměřených hodnot do deníku zkoušky 10) Průběžný záznam teploty na povrchu topných těles 11) V čase 6:23 z důvodu pomalého ohřevu připojeny zbývající dvě dvojice topných těles 12) Vypojení soustavy ohřevu z elektrické sítě, ukončení zkoušky ohřevu po několika cyklech sepnutí digitálního termostatu z důvodu pomalého ohřevu.	

## Příloha 20.1. Zdrojová data

Hlava měřící profil 2	Hlava měřící profil 4	Hlava měřící profil 6	Hlava měřící profil 8	Čas měření	
17,5	17,5	17,6	17,6	0:00	
17,5	17,3	17,6	17,6	2:00	
17,8	17,6	17,7	17,8	4:00	
17,6	17,6	17,55	17,7	6:23	Připojeny zbylé dvojice topných těles
17,4	17,6	17,4	17,6	12:00	
Ukončení měření – nedochází k ohřevu; přenastavení termostatů na 25–30 °C				13:00	

Topné těleso 2	Topné těleso 5	Čas měření
18,7	19	0
68,3	83,9	2
45,7	53,1	4
25,7	27,9	12

## Příloha 20.2. Grafy



### **Příloha 20.3. Závěr**

Zkouška ohřevu ukázala skutečnost, že jedna dvojice topných těles v kombinaci s regulací pomocí digitálního termostatu s nastaveným spínáním na 20–25 °C je na ohřev Ek příliš málo, a způsobuje nerovnoměrný ohřev Ek.

Dále je z grafu teploty topných těles patrná příliš velká setrvačnost ohřevu topných těles. I přesto, že bylo nastaveno vypnutí ohřevu termostatem na teplotu 25 °C tak jedno topné těleso dosáhlo teploty bezmála 84 °C. Z této teploty následovalo dlouhé chladnutí až na teplotu 20 °C, kdy by měl být sepnut opětovný ohřev.

Pro další zkoušky ohřevu bude vhodné použití všech dvojic topných těles k zajištění rovnoměrného ohřevu Ek. Dále bude vhodné lepší nastavení teplot spínání na digitálních termostatech.

**Příloha 20.4. Deník zkoušky**

①

22.1.2025

Zkouška ohřevu spirály s regulací 20-25°C

Č. odečtu	Č. řezu Místo měření	2	4	6	8	Čas měření	Údaje			
							1	2	3	
1	Hlava	17,6	17,6	17,6	17,7	0:00	2	17,8	5	17,9
	Stojina									
	Pata									
2	Hlava	17,5	17,5	17,6	17,6	0:00		18,7		19,0
	Stojina									
	Pata					0:20				
3	Hlava	17,5	17,3	17,6	17,6	<del>20:00</del>		68,3		83,9
	Stojina									
	Pata									
4	Hlava	17,8	17,6	17,7	17,8	4:00		49,7		53,7
	Stojina									
	Pata									
5	Hlava									
	Stojina	17,4	17,6	17,4	17,6	12:00		29,7		27,9
	Pata									
6	Hlava									
	Stojina									
	Pata									
7	Hlava	17,6	17,3	17,6	17,6	0:00		22,8		24,7
	Stojina	17,8	18,4	18,6	18,5	15:00		67,8		79,7
	Pata		VSE	JEDE	DOBRE					
8	Hlava	17,9	17,7	17,5	18,2	0:00	1	2	3	
	Stojina	17,9	17,6	17,6	17,5		4	5	6	
	Pata	17,6	17,5	17,6	17,5					
9	Hlava									
	Stojina									
	Pata									
10	Hlava									
	Stojina						4	5	6	
	Pata									
11	Hlava						1	2	3	
	Stojina						4	5	6	
	Pata									
12	Hlava						1	2	3	
	Stojina						4	5	6	
	Pata									
13	Hlava						1	2	3	
	Stojina						4	5	6	
	Pata									
14	Hlava						1	2	3	
	Stojina						4	5	6	
	Pata									
15	Hlava						1	2	3	
	Stojina						4	5	6	
	Pata									

Pouze rovní dosojice spirál, odečet pouze na hlavě

## Příloha 21. Zkouška ohřevu Ek s termostatickou regulací 2

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu Ek s termostatickou regulací 2
Datum zkoušky:	22.1.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Stopky Papírový zápisník Experimentální kolejnice Topná tělesa 1000 W (6 ks) Digitální termostat s teplotní sondou	
3) Cíle zkoušky	
Cílem zkoušky ohřevu bylo oproti předchozí zkoušce docílit rychlejšího a rovnoměrnějšího ohřevu Ek využitím všech dostupných topných těles. Dalším cílem bylo co největší vyrovnání výkyvů teplot topných těles správným nastavením digitálního termostatu. Pro toto měření bylo spínání termostatu nastaveno na rozpětí 25–30 °C.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Příprava experimentální kolejnice.</li> <li>2) Příprava a instalace všech dvojic topných těles pomocí elektricky izolovaného uchycení.</li> <li>3) Zapojení elektrického obvodu topných těles.</li> <li>4) Instalace digitálního termostatu s teplotní sondou a nastavení spínání na rozpětí 25–30 °C.</li> <li>5) Příprava stopek.</li> <li>6) Příprava bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574.</li> <li>7) Realizace nulového odečtu teploty experimentální kolejnice; měření teploty před zahájením zkoušky v měřících profilech 2,4,6,8, a to na hlavě, stojině a patě kolejnice.</li> <li>8) Zapojení ohřevné soustavy do elektrické sítě, zapnutí stopek, zahájení ohřevu</li> <li>9) Průběžné měření teploty každé 3 minuty pomocí bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 a následný záznam naměřených hodnot do deníku zkoušky</li> <li>10) Vypojení soustavy ohřevu z elektrické sítě, ukončení zkoušky ohřevu po 33 minutách z důvodu pomalého ohřevu.</li> </ol>	

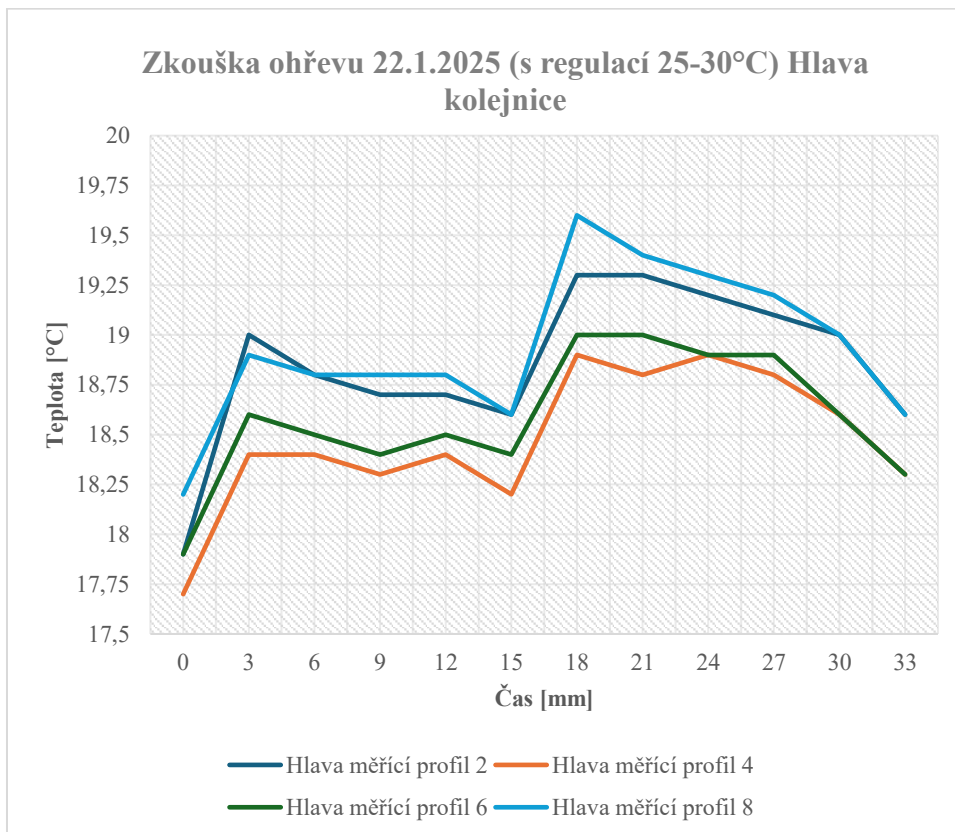
## Příloha 21.1. Zdrojová data

Hlava měřící profil 2	Hlava měřící profil 4	Hlava měřící profil 6	Hlava měřící profil 8	Čas měření [mm]
17,9	17,7	17,9	18,2	0
19	18,4	18,6	18,9	3
18,8	18,4	18,5	18,8	6
18,7	18,3	18,4	18,8	9
18,7	18,4	18,5	18,8	12
18,6	18,2	18,4	18,6	15
19,3	18,9	19	19,6	18
19,3	18,8	19	19,4	21
19,2	18,9	18,9	19,3	24
19,1	18,8	18,9	19,2	27
19	18,6	18,6	19	30
18,6	18,3	18,3	18,6	33

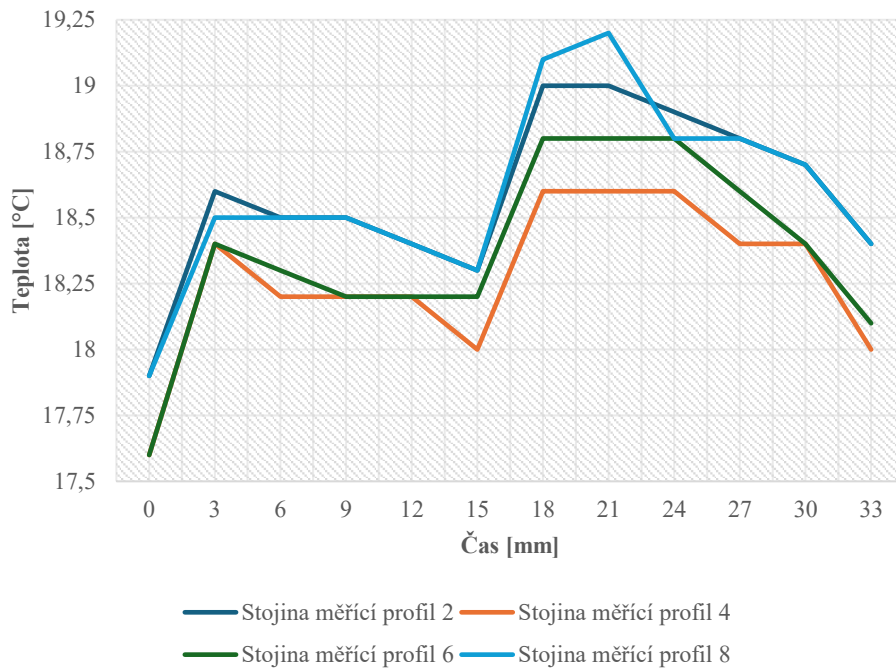
Stojina měřící profil 2	Stojina měřící profil 4	Stojina měřící profil 6	Stojina měřící profil 8	Čas měření [mm]
17,9	17,6	17,6	17,9	0
18,6	18,4	18,4	18,5	3
18,5	18,2	18,3	18,5	6
18,5	18,2	18,2	18,5	9
18,4	18,2	18,2	18,4	12
18,3	18	18,2	18,3	15
19	18,6	18,8	19,1	18
19	18,6	18,8	19,2	21
18,9	18,6	18,8	18,8	24
18,8	18,4	18,6	18,8	27
18,7	18,4	18,4	18,7	30
18,4	18	18,1	18,4	33

Pata měřící profil 2	Pata měřící profil 4	Pata měřící profil 6	Pata měřící profil 8	Čas měření [mm]
17,6	17,5	17,6	17,9	0
18,4	18	18,2	18,3	3
18,4	18	18,1	18,2	6
18,2	18	18	18,2	9
18,4	18	17,9	18,4	12
18,1	18	17,9	18,2	15
18,8	18,6	18,7	18,8	18
18,8	18,6	18,5	18,6	21
18,6	18,5	18,5	18,7	24
18,7	18,4	18,4	18,7	27
18,6	18,3	18,2	18,5	30
18,3	17,9	17,9	18,2	33

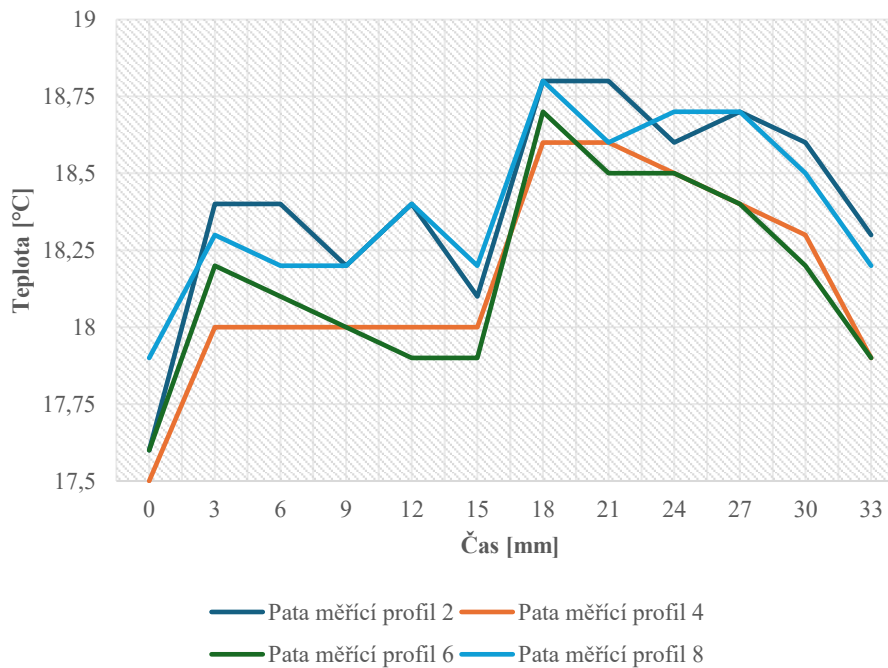
## Příloha 21. 2. Grafy



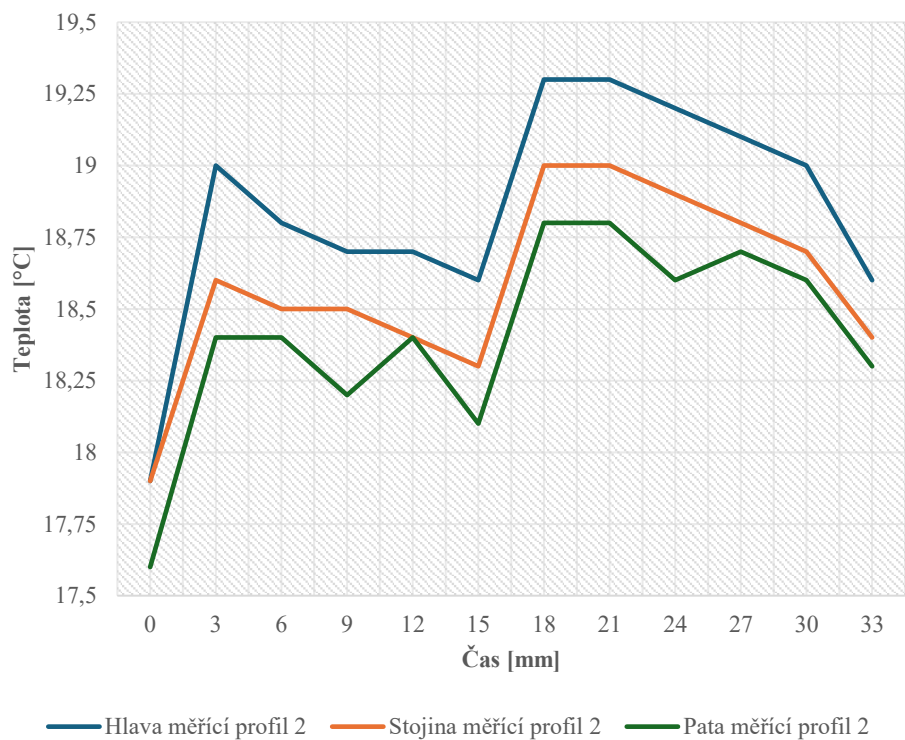
**Zkouška ohřevu 22.1.2025 (s regulací 25-30°C) Stojina kolejnice**



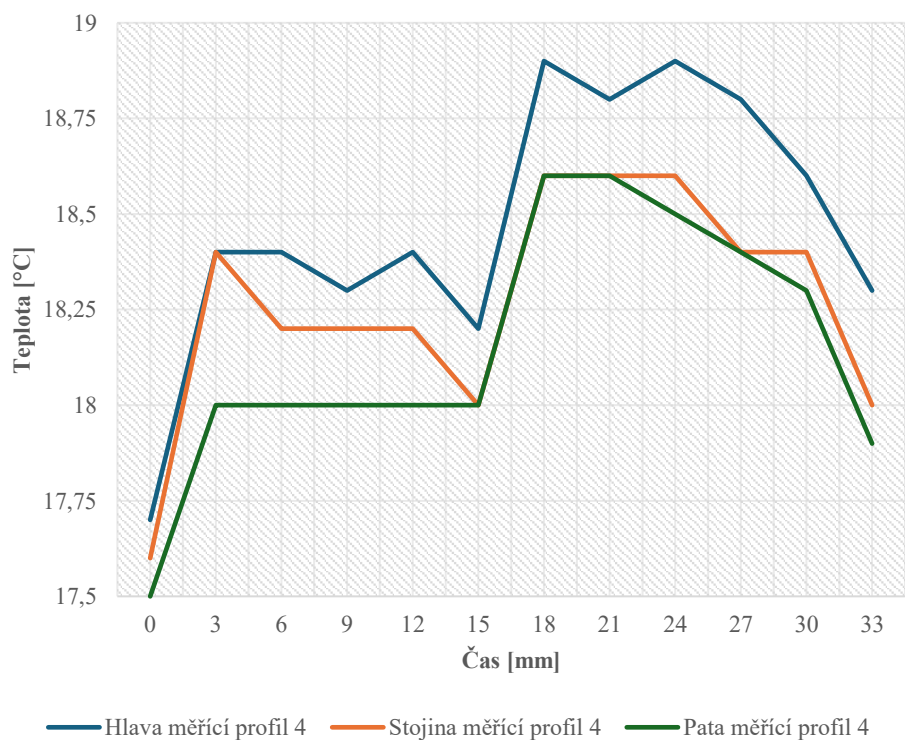
**Zkouška ohřevu 22.1.2025 (s regulací 25-30°C) Pata kolejnice**



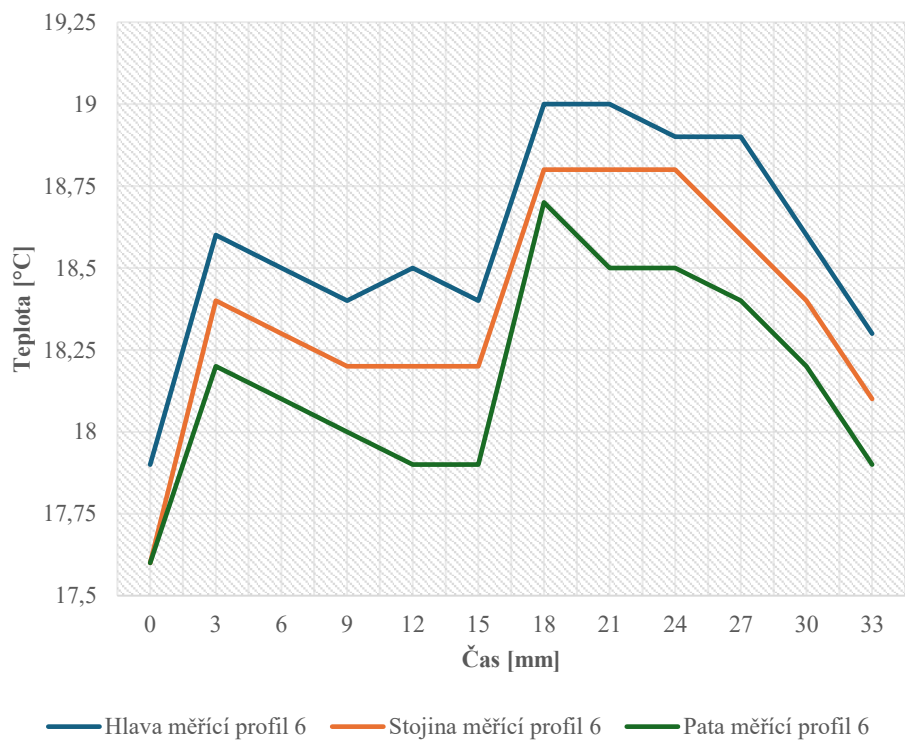
Zkouška ohřevu 22.1.2025 (s regulací 25-30°C) Řez 2



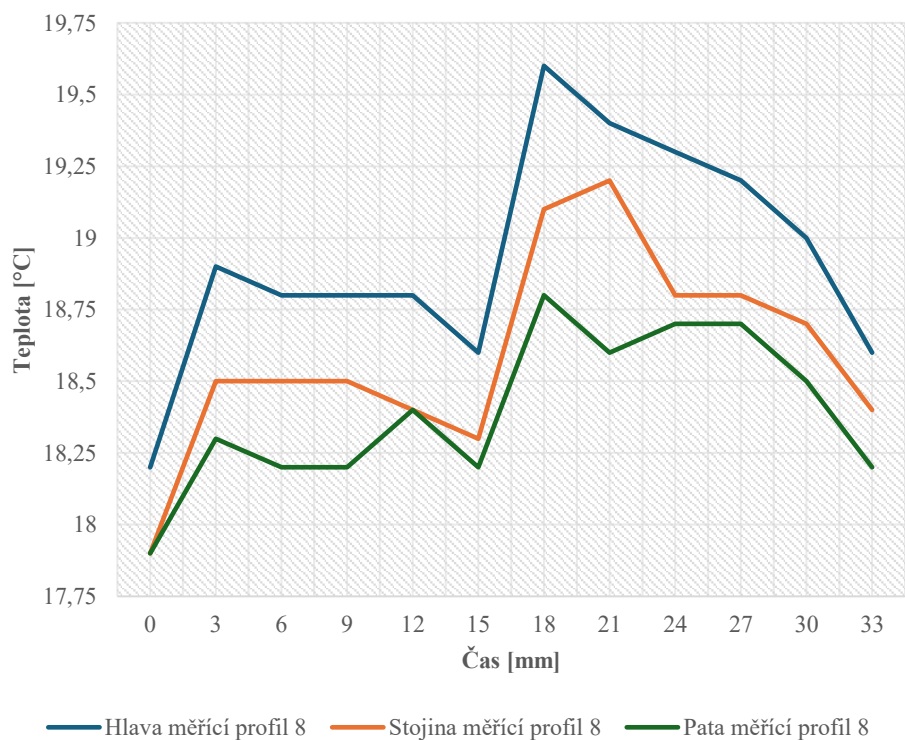
Zkouška ohřevu 22.1.2025 (s regulací 25-30°C) Řez 4



Zkouška ohřevu 22.1.2025 (s regulací 25-30°C) Řez 6



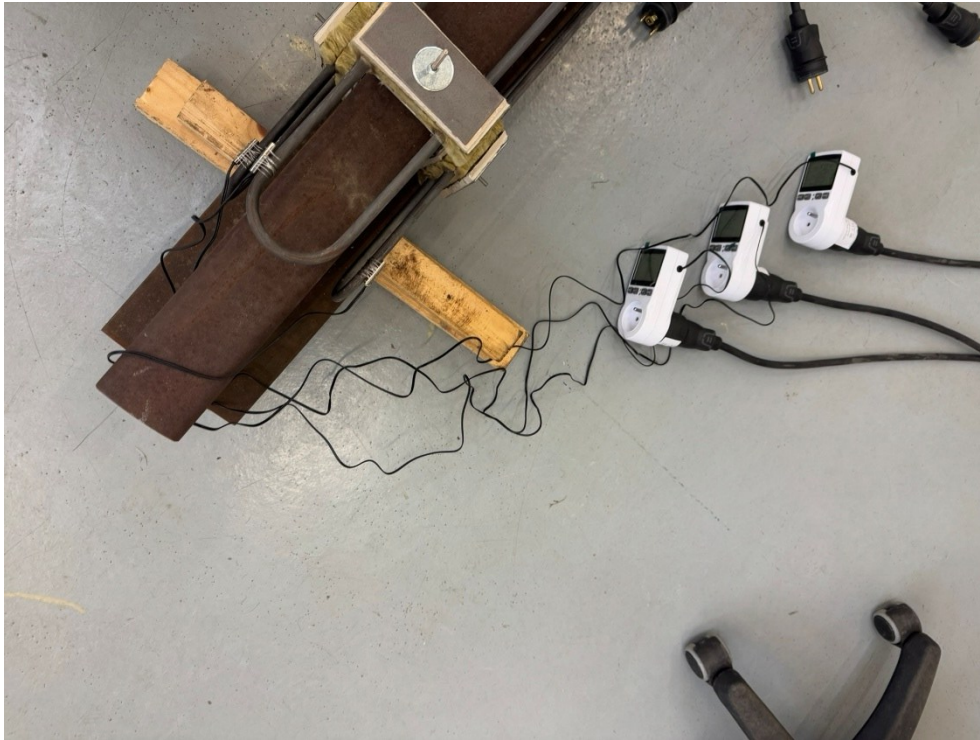
Zkouška ohřevu 22.1.2025 (s regulací 25-30°C) Řez 8



### **Příloha 21.3. Závěr**

Zapojením všech šesti topných těles bohužel nedošlo k výraznému zlepšení ohřevu. Kvůli regulaci pomocí digitálního termostatu a jeho nastavení na spínání v rozmezí 25–30 °C bohužel docházelo vždy k prudkému zahřátí a následnému chladnutí Ek. Ohřev tak měl kolísavý průběh a nebyl rovnoměrný. Výsledná teplota Ek po dokončení zkoušky ohřevu se výrazně neliší od teploty na jejím začátku. Ohřev lze označit za pomalý, kolísavý a nerovnoměrný. Pro další zkoušky ohřevu je nutné upravit nastavení digitálních termostatů a hledat tak optimální řešení.

### **Příloha 21.4. Fotodokumentace**



**Příloha 21.5. Deník zkoušky**

②

22.7. 2025

Spivky nespímaji úplně stejně  
(25-30°)

Z = zapnuté  
V = vypnuté

Č. odečtu	Č. řezu	2	4	6	8	Čas měření	Poznámky
	Místo měření						
1	Hlava	17,5	17,2	17,5	18,2	0:00	Z
	Stojina	17,5	17,6	17,6	17,9		
	Pata	17,6	17,5	17,6	17,9		
2	Hlava	17,0	18,4	18,6	18,3	3:00	V
	Stojina	18,6	18,4	18,4	18,5		
	Pata	18,4	18,0	18,2	18,3		
3	Hlava	18,8	18,4	18,5	18,8	6:00	V
	Stojina	18,5	18,2	18,3	18,5		
	Pata	18,4	18,0	18,1	18,2		
4	Hlava	18,7	18,3	18,4	18,8	9:00	V
	Stojina	18,5	18,2	18,2	18,5		
	Pata	18,2	18,0	18,0	18,2		
5	Hlava	18,7	18,4	18,5	18,8	12:00	V TERMOSTAT cca 25°C
	Stojina	18,4	18,2	18,2	18,4		
	Pata	18,4	18,0	17,9	18,4		
6	Hlava	18,6	18,2	18,4	18,6	15:00	Z TERMOSTAT
	Stojina	18,3	18,0	18,2	18,3		
	Pata	18,7	18,0	17,9	18,2		
7	Hlava	18,3	18,9	18,0	18,6	18:00	V TERMOSTAT 60°C
	Stojina	18,0	18,6	18,8	18,7		
	Pata	18,8	18,6	18,7	18,8		
8	Hlava	18,3	18,8	18,0	18,4	21:00	V TERMOSTAT 55°C
	Stojina	18,0	18,6	18,8	18,2		
	Pata	18,8	18,6	18,5	18,6		
9	Hlava	18,2	18,9	18,9	18,3	24:00	V TERMOSTAT 45°C
	Stojina	18,9	18,6	18,8	18,8		
	Pata	18,6	18,5	18,5	18,7		
10	Hlava	18,7	18,8	18,9	18,2	27:00	V TERMOSTAT 35°C
	Stojina	18,8	18,4	18,6	18,8		
	Pata	18,7	18,4	18,4	18,7		
11	Hlava	18,0	18,6	18,6	18,0	30:00	V TERMOSTAT 28°C
	Stojina	18,7	18,4	18,4	18,7		
	Pata	18,6	18,3	18,2	18,5		
12	Hlava	18,6	18,3	18,3	18,6	33:00	V TERMOSTAT 27°C
	Stojina	18,4	18,0	18,7	18,4		
	Pata	18,3	18,9	18,9	18,2		
13	Hlava	UKONČENO → Pomaly obívat					
	Stojina						
	Pata						
14	Hlava						
	Stojina						
	Pata						
15	Hlava						
	Stojina						
	Pata						

## Příloha 22. Zkouška ohřevu Ek s termostatickou regulací 3

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu Ek s termostatickou regulací 3
Datum zkoušky:	22.1.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Stopky Papírový zápisník Experimentální kolejnice Topná tělesa 1000 W (6 ks) Digitální termostat s teplotní sondou	
3) Cíle zkoušky	
Cílem zkoušky ohřevu bylo oproti předchozí zkoušce docílit opět rychlejšího a rovnoměrnějšího ohřevu Ek. Dalším cílem bylo co největší vyrovnání výkyvů teplot topných těles správným nastavením digitálního termostatu. Pro toto měření bylo spínání termostatu nastaveno na rozpětí 29–30 °C.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"><li>1) Příprava experimentální kolejnice.</li><li>2) Příprava a instalace všech dvojic topných těles pomocí elektricky izolovaného uchycení.</li><li>3) Zapojení elektrického obvodu topných těles.</li><li>4) Instalace digitálního termostatu s teplotní sondou a nastavení spínání na rozpětí 29–30 °C.</li><li>5) Příprava stopek.</li><li>6) Příprava bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574.</li><li>7) Realizace nulového odečtu teploty experimentální kolejnice; měření teploty před zahájením zkoušky v měřících profilech 2,4,6,8, a to na hlavě, stojně a patě kolejnice.</li><li>8) Zapojení ohřevné soustavy do elektrické sítě, zapnutí stopek, zahájení ohřevu</li><li>9) Průběžné měření teploty každé 3 minuty pomocí bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 a následný záznam naměřených hodnot do deníku zkoušky</li><li>10) Vypojení soustavy ohřevu z elektrické sítě, ukončení zkoušky ohřevu po 33 minutách z důvodu pomalého ohřevu.</li></ol>	

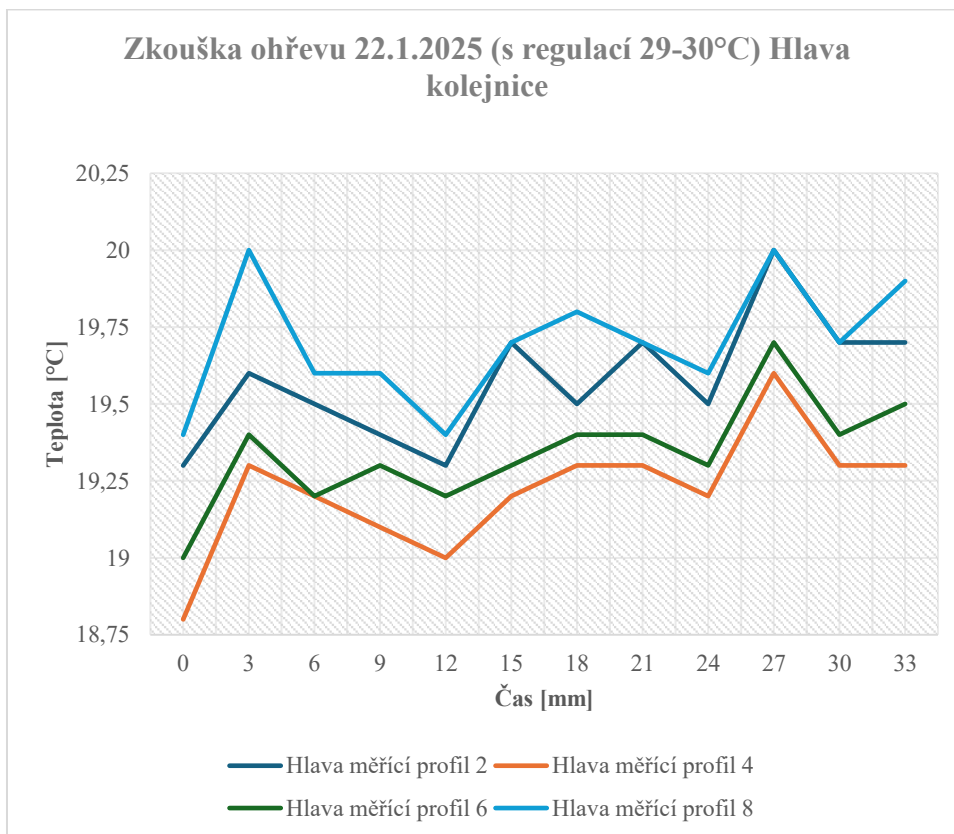
## Příloha 22.1. Zdrojová data

Hlava měřící profil 2	Hlava měřící profil 4	Hlava měřící profil 6	Hlava měřící profil 8	Čas měření [mm]
19,3	18,8	19	19,4	0
19,6	19,3	19,4	20	3
19,5	19,2	19,2	19,6	6
19,4	19,1	19,3	19,6	9
19,3	19	19,2	19,4	12
19,7	19,2	19,3	19,7	15
19,5	19,3	19,4	19,8	18
19,7	19,3	19,4	19,7	21
19,5	19,2	19,3	19,6	24
20	19,6	19,7	20	27
19,7	19,3	19,4	19,7	30
19,7	19,3	19,5	19,9	33

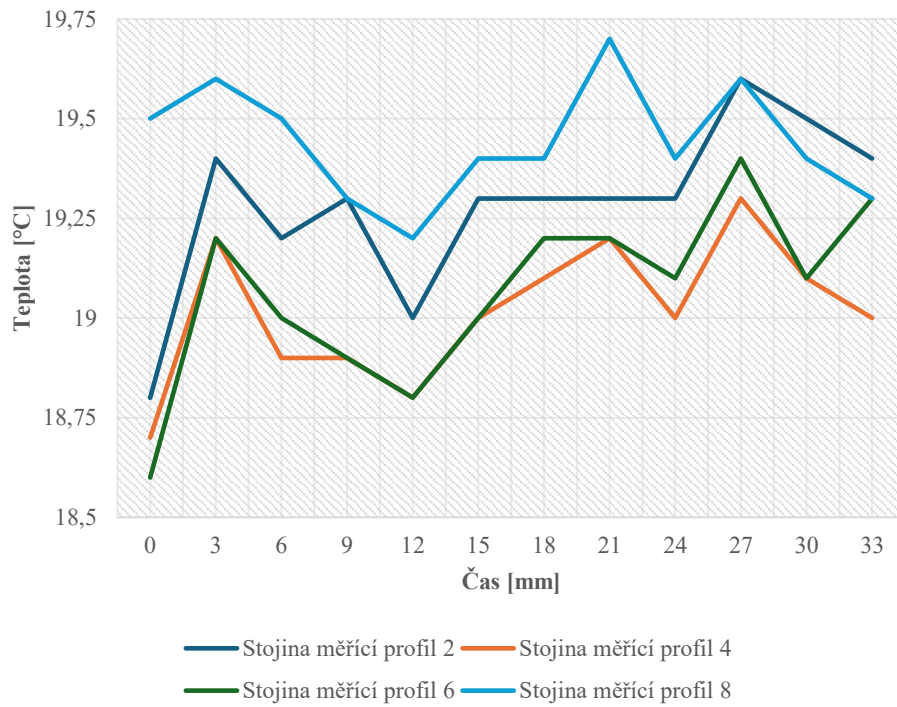
Stojina měřící profil 2	Stojina měřící profil 4	Stojina měřící profil 6	Stojina měřící profil 8	Čas měření [mm]
18,8	18,7	18,6	19,5	0
19,4	19,2	19,2	19,6	3
19,2	18,9	19	19,5	6
19,3	18,9	18,9	19,3	9
19	18,8	18,8	19,2	12
19,3	19	19	19,4	15
19,3	19,1	19,2	19,4	18
19,3	19,2	19,2	19,7	21
19,3	19	19,1	19,4	24
19,6	19,3	19,4	19,6	27
19,5	19,1	19,1	19,4	30
19,4	19	19,3	19,3	33

Pata měřící profil 2	Pata měřící profil 4	Pata měřící profil 6	Pata měřící profil 8	Čas měření [mm]
18,7	18,6	18,4	18,7	0
19,2	19	19,2	19,3	3
19,2	18,8	18,8	19	6
19	18,8	18,8	19	9
19	18,5	18,8	18,8	12
19,2	18,9	19	19	15
19,1	18,9	18,9	19,2	18
19,3	19	18,9	19,2	21
19,2	18,8	19	19,1	24
19,3	19,2	19,2	19,3	27
19,1	18,5	19	19,2	30
19,2	19	19	19,2	33

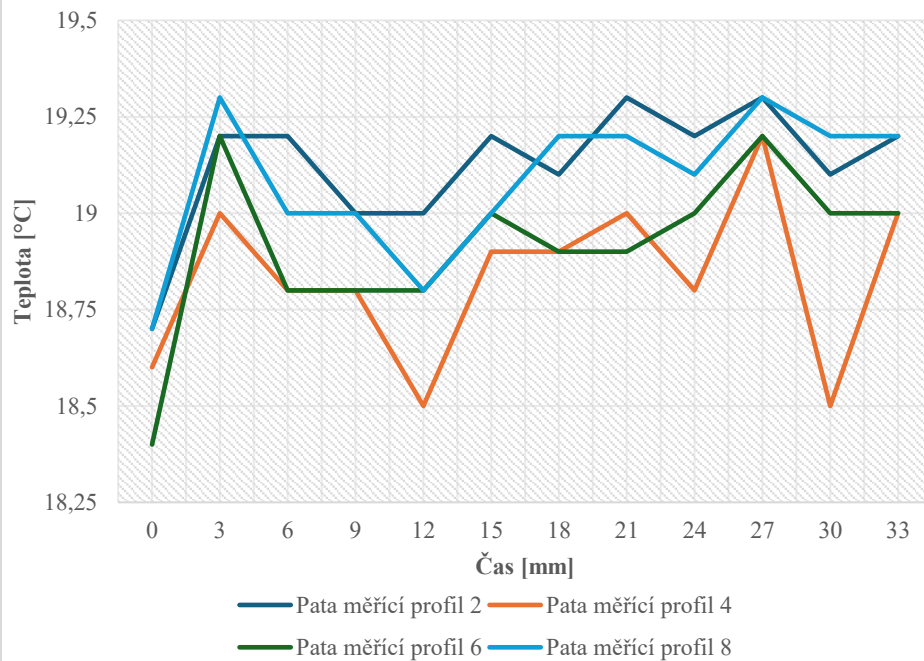
## Příloha 22.2. Grafy



**Zkouška ohřevu 22.1.2025 (s regulací 29-30°C) Stojina kolejnice**



**Zkouška ohřevu 22.1.2025 (s regulací 29-30°C) Pata kolejnice**



### **Příloha 22.3. Závěr**

Dle naměřených dat se opět bohužel nepodařilo docílit plynulého rovnoměrného ohřevu.

Oproti předchozím zkouškám bylo možné pozorovat změnu v častějším spínání termostatů z důvodu malého spínacího rozpětí 29–30 °C.

Ohřev je však opět pomalý, kolísavý a nerovnoměrný. Pro další zkoušky ohřevu je zapotřebí dále hledat vhodné nastavení spínaného rozpětí digitálních termostatů.

**Příloha 22.4. Deník zkoušky**

23

22.7. 2025

spínají častěji spínací vespínají úplně stejně 29-30° (30-36°)

Z = zapnuté  
V = vypnuté spík

Č. odečtu	Č. řezu	Místo měření	2				4				6				8				Čas měření	Poznámky
			2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8		
1	Hlava		28,319,3	28,219,8	28,519,0	28,219,4									0:00	Z 1x	TERMOSTAT 48°C			
	Stojina		28,519,8	28,619,7	28,619,0	28,519,5														
	Pata		28,619,2	28,519,6	28,619,4	28,519,7														
2	Hlava		28,019,6	28,419,3	28,619,4	28,320,0									3:00	Z 2x	TERMOSTAT 50°C			
	Stojina		28,619,4	28,419,2	28,419,2	28,519,6														
	Pata		28,419,2	28,019,0	28,219,2	28,319,3														
3	Hlava		28,819,5	28,419,2	28,519,2	28,819,6									6:00	V	I DACE MESLEKUSI			
	Stojina		28,519,2	28,219,9	28,319,0	28,519,5														
	Pata		28,419,2	28,019,8	28,119,8	28,219,0														
4	Hlava		28,719,4	28,319,1	28,419,3	28,819,6									9:00	V	I DACE MESLEKUSI			
	Stojina		28,319,3	28,219,9	28,219,9	28,519,3														
	Pata		28,219,0	28,019,8	28,019,8	28,219,0														
5	Hlava		28,219,3	28,419,0	28,519,2	28,819,4									12:00	V	TERMOSTAT CCA 25°C			
	Stojina		28,419,0	28,219,8	28,219,8	28,419,2														
	Pata		28,419,0	28,019,5	28,519,8	28,419,8														
6	Hlava		28,619,7	28,219,2	28,419,3	28,619,2									15:00	Z	TERMOSTAT			
	Stojina		28,319,3	28,019,0	28,219,0	28,319,4														
	Pata		28,719,2	28,019,9	28,519,0	28,219,0														
7	Hlava		28,319,5	28,519,3	28,019,4	28,619,8									18:00	V	TERMOSTAT 60°C			
	Stojina		28,019,3	28,619,1	28,819,2	28,719,4														
	Pata		28,819,1	28,019,9	28,719,9	28,819,2														
8	Hlava		28,319,7	28,819,3	28,019,4	28,419,2									21:00	V	TERMOSTAT 55°C			
	Stojina		28,019,3	28,419,2	28,819,2	28,219,7														
	Pata		28,819,3	28,619,0	28,519,9	28,619,2														
9	Hlava		28,219,5	28,519,2	28,519,3	28,319,6									24:00	V	TERMOSTA 45°C			
	Stojina		28,519,3	28,619,0	28,819,7	28,819,4														
	Pata		28,619,2	28,519,8	28,519,0	28,719,1														
10	Hlava		28,120,0	28,819,6	28,519,2	28,220,0									27:00	V	TERMOSTA 35°C			
	Stojina		28,819,6	28,419,3	28,619,4	28,819,6														
	Pata		28,319,3	28,419,2	28,419,2	28,719,3														
11	Hlava		28,019,7	28,619,3	28,619,4	28,019,2									30:00	V	TERMOSTAT 28°C			
	Stojina		28,719,5	28,419,7	28,419,7	28,719,4														
	Pata		28,619,1	28,319,5	28,219,0	28,519,2														
12	Hlava		28,619,7	28,319,3	28,319,5	28,619,9									33:00	V	TERMOSTAT 27°C			
	Stojina		28,419,4	28,019,0	28,719,3	28,419,3														
	Pata		28,519,2	28,519,0	28,519,0	28,219,2														
13	Hlava																VAKUACENO => Pomaly ohrev.			
	Stojina																			
	Pata																			
14	Hlava																			
	Stojina																			
	Pata																			
15	Hlava																			
	Stojina																			
	Pata																			

TESTY MASLEMI OHREVM

## Příloha 23. Zkouška ohřevu Ek s termostatickou regulací 4

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu Ek s termostatickou regulací 4
Datum zkoušky:	22.1.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Stopky Papírový zápisník Experimentální kolejnice Topná tělesa 1000 W (6 ks) Digitální termostat s teplotní sondou	
3) Cíle zkoušky	
Cílem zkoušky ohřevu bylo oproti předchozí zkoušce docílit opět rychlejšího a rovnoměrnějšího ohřevu Ek. Dalším cílem bylo co největší vyrovnání výkyvů teplot topných těles správným nastavením digitálního termostatu. Pro toto měření bylo spínání termostatu nastaveno na vyšší rozpětí 79–80 °C.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"><li>1) Příprava experimentální kolejnice.</li><li>2) Příprava a instalace všech dvojic topných těles pomocí elektricky izolovaného uchycení.</li><li>3) Zapojení elektrického obvodu topných těles.</li><li>4) Instalace digitálního termostatu s teplotní sondou a nastavení spínání na rozpětí 79–80 °C.</li><li>5) Příprava stopek.</li><li>6) Příprava bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574.</li><li>7) Realizace nulového odečtu teploty experimentální kolejnice; měření teploty před zahájením zkoušky v měřících profilech 2,4,6,8, a to na hlavě, stojině a patě kolejnice.</li><li>8) Zapojení ohřevné soustavy do elektrické sítě, zapnutí stopek, zahájení ohřevu</li><li>9) Průběžné měření teploty každé 3 minuty pomocí bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 a následný záznam naměřených hodnot do deníku zkoušky</li><li>10) Vypojení soustavy ohřevu z elektrické sítě, ukončení zkoušky ohřevu po 33 minutách z důvodu pomalého ohřevu.</li></ol>	

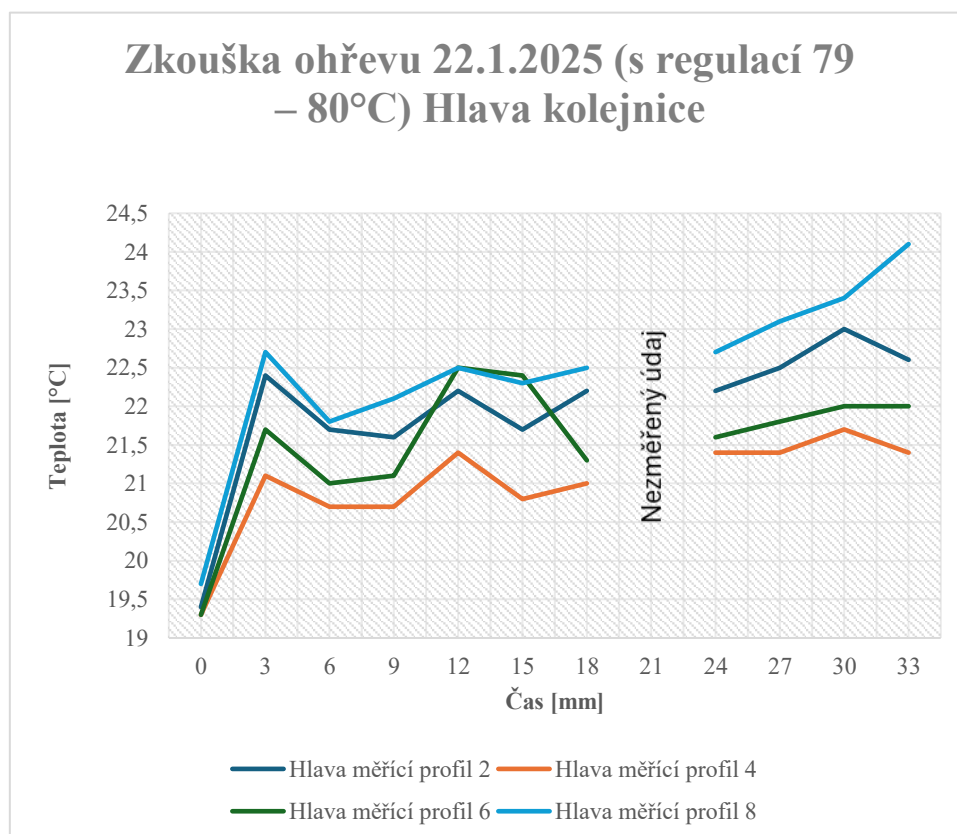
### Příloha 23.1. Zdrojová data

Hlava měřící profil 2	Hlava měřící profil 4	Hlava měřící profil 6	Hlava měřící profil 8	Čas měření [mm]
19,4	19,3	19,3	19,7	0
22,4	21,1	21,7	22,7	3
21,7	20,7	21	21,8	6
21,6	20,7	21,1	22,1	9
22,2	21,4	22,5	22,5	12
21,7	20,8	22,4	22,3	15
22,2	21	21,3	22,5	18
				21
22,2	21,4	21,6	22,7	24
22,5	21,4	21,8	23,1	27
23	21,7	22	23,4	30
22,6	21,4	22	24,1	33

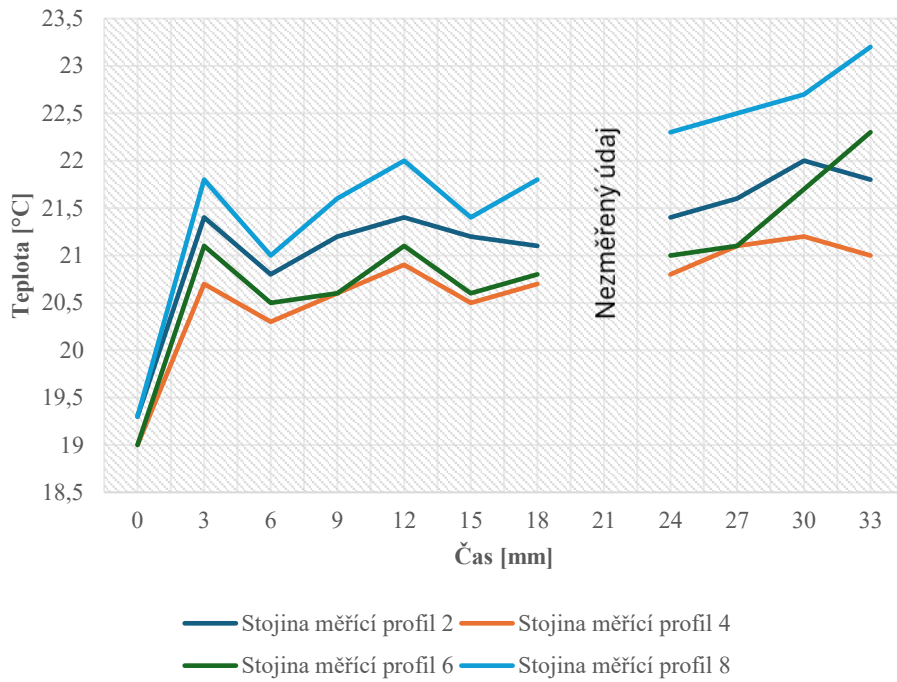
Stojina měřící profil 2	Stojina měřící profil 4	Stojina měřící profil 6	Stojina měřící profil 8	Čas měření [mm]
19,3	19	19	19,3	0
21,4	20,7	21,1	21,8	3
20,8	20,3	20,5	21	6
21,2	20,6	20,6	21,6	9
21,4	20,9	21,1	22	12
21,2	20,5	20,6	21,4	15
21,1	20,7	20,8	21,8	18
				21
21,4	20,8	21	22,3	24
21,6	21,1	21,1	22,5	27
22	21,2	21,7	22,7	30
21,8	21	22,3	23,2	33

Pata měřící profil 2	Pata měřící profil 4	Pata měřící profil 6	Pata měřící profil 8	Čas měření [mm]
19	18,8	19	19,1	0
21	20,6	20,7	20,7	3
20,3	20	20,1	20,2	6
20,6	20,1	20,1	20,4	9
20,3	20,3	20,4	20,7	12
20,5	20,1	20,3	20,6	15
20,7	20,3	20,3	20,8	18
				21
20,7	20,3	20,4	21	24
21,1	20,5	20,7	21,1	27
21,5	21	21,1	21,6	30
21,2	20,7	21,2	21,7	33

## Příloha 23.2. Grafy



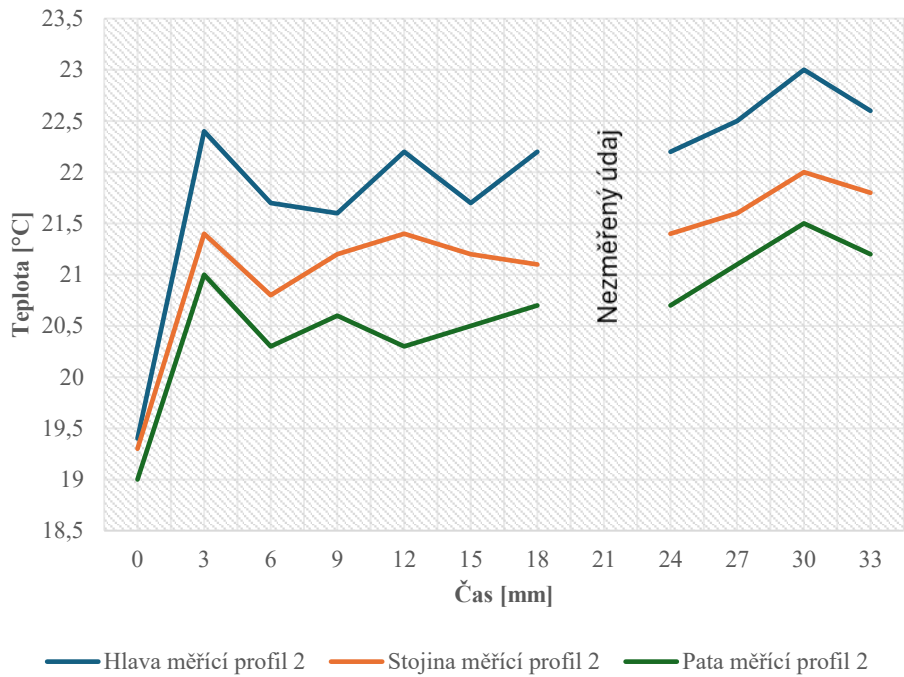
### Zkouška ohřevu 22.1.2025 (s regulací 79 – 80°C) Stojina kolejnice



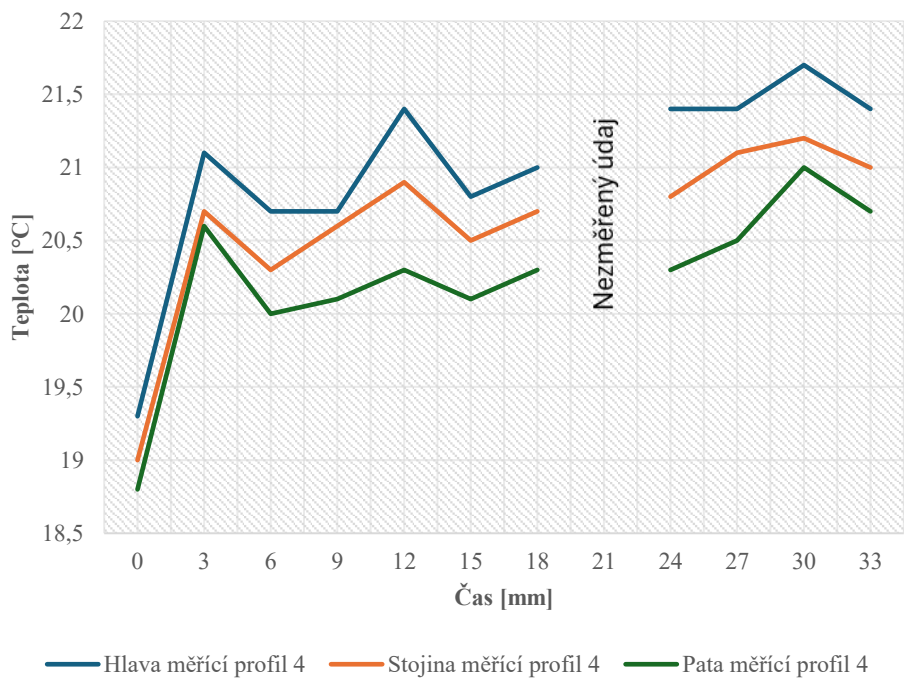
### Zkouška ohřevu 22.1.2025 (s regulací 79 – 80°C) Pata kolejnice



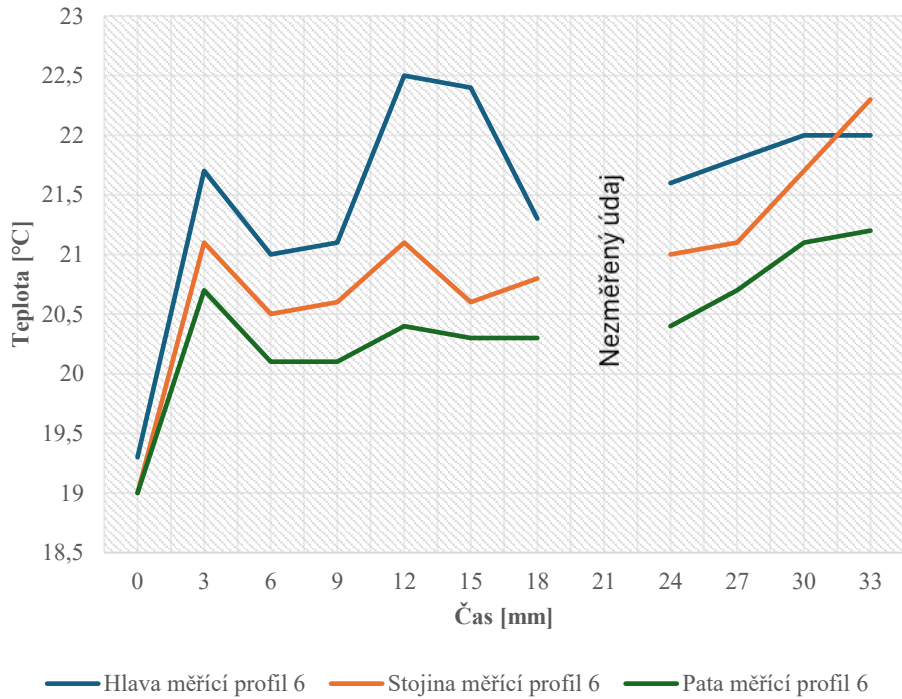
### Zkouška ohřevu 22.1.2025 (s regulací 79 – 80°C) Měřicí profil 2



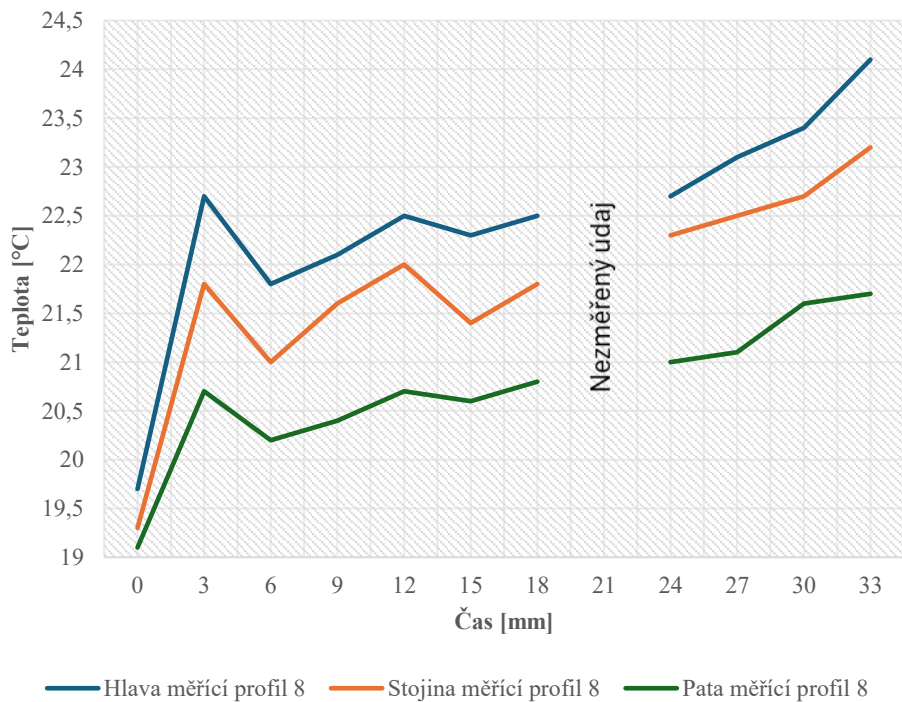
### Zkouška ohřevu 22.1.2025 (s regulací 79 – 80°C) Měřicí profil 4



Zkouška ohřevu 22.1.2025 (s regulací 79 – 80°C)  
Měřicí profil 6



Zkouška ohřevu 22.1.2025 (s regulací 79-80°C) Měřicí profil 8



### **Příloha 23.3. Závěr**

Při této zkoušce ohřevu bylo nastavení rozpětí spínání digitálních termostatů posunuto na hodnoty 79–80 °C. Naměřená data vypovídají o zlepšení ohřevu, který byl rostoucí a začínal stagnovat až před ukončením zkoušky.

Ohřev, i přes svůj rostoucí charakter byl kolísavý a nebyl plynulý. Největší přírůstek teploty Ek byl v prvním spínacím cyklu termostatů, následovalo chladnutí, a poté další cykly ohřevu již s menším vlivem na ohřev Ek.

Výše popsané fenomény pramení z podstaty fungování digitálních termostatů, nikoli jejich špatného nastavení. Správným nastavením lze pouze toto špatné chování zlepšit, ale nikoli je zcela odfiltrovat.

Pro další měření bude vhodné sledovat vlastnosti soustavy ohřevu s tímto typem regulace při dlouhodobých zkouškách ohřevu. Nabízí se také doplnění soustavy o dvojici infrazářičů.

**Příloha 23.4. Deník zkoušky**

24 22.1. 2025

Spivky nespírají úplně stejně  
73-80° (25-30°)

Z = zapnuté  
V = vypnuté Spix

Č. odečtu	Č. řezu	Místo měření	2	4	6	8	Čas měření	Poznámky
1	Hlava		18,5194	18,7193	18,5193	18,2192	0:00	Z
	Stojina		18,5193	18,6190	18,6190	18,5193		
	Pata		18,6190	18,5198	18,6190	18,5191		
2	Hlava		18,0224	18,4227	18,6227	18,5227	3:00	V
	Stojina		18,5224	18,4227	18,4227	18,5228		
	Pata		18,4220	18,0208	18,2207	18,3207		
3	Hlava		18,8222	18,4207	18,5220	18,8228	6:00	V
	Stojina		18,5208	18,2203	18,3205	18,5220		
	Pata		18,4203	18,0200	18,1201	18,2202		
4	Hlava		18,7226	18,3227	18,4227	18,8227	9:00	V
	Stojina		18,5222	18,2206	18,2206	18,5226		
	Pata		18,2206	18,0207	18,0207	18,2204		
5	Hlava		18,7222	18,4224	18,5225	18,8225	12:00	V
	Stojina		18,4224	18,2209	18,2221	18,4220		TERMOSTAT cca 25°C
	Pata		18,4203	18,0203	18,5204	18,4207		
6	Hlava		18,6227	18,2208	18,4224	18,6223	15:00	Z
	Stojina		18,3222	18,0205	18,2206	18,3224		TERMOSTAT
	Pata		18,7205	18,0201	18,5203	18,2206		
7	Hlava		18,3222	18,5220	18,0223	18,6225	18:00	V
	Stojina		18,0227	18,6207	18,8228	18,7228		TERMOSTAT 60°C
	Pata		18,8207	18,6203	18,7203	18,8208		
8	Hlava		18,3	18,8	18,0	18,4	21:00	V
	Stojina		18,0	18,637	18,8	18,0		TERMOSTAT 55°C
	Pata		18,8	18,6	18,5	18,6		
9	Hlava		18,2222	18,5224	18,5226	18,3227	24:00	V
	Stojina		18,5224	18,0208	18,8220	18,8223		TERMOSTAT 45°C
	Pata		18,6207	18,5203	18,5204	18,7220		
10	Hlava		18,7225	18,8224	18,5228	18,2227	27:00	V
	Stojina		18,8226	18,4227	18,6227	18,8225		TERMOSTAT 35°C
	Pata		18,7227	18,4205	18,4207	18,7227		
11	Hlava		18,0220	18,6227	18,6220	18,0224	30:00	V
	Stojina		18,7220	18,4222	18,4227	18,7227		TERMOSTAT 28°C
	Pata		18,6225	18,3220	18,2227	18,5226		
12	Hlava		18,6226	18,3224	18,3220	18,6227	33:00	V
	Stojina		18,4228	18,0220	18,7223	18,4222		TERMOSTAT 27°C
	Pata		18,3222	18,5207	18,5222	18,2227		
13	Hlava							
	Stojina		UKONČENO → Pomalý ohřev					
	Pata							
14	Hlava							
	Stojina							
	Pata							
15	Hlava							
	Stojina							
	Pata							

## Příloha 24. Dlouhodobá zkouška ohřevu Ek pomocí topných těles v kombinaci s infrazářičem

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Dlouhodobá zkouška ohřevu Ek pomocí topných těles v kombinaci s infrazářičem
Datum zkoušky:	23.1.2025 – 24.1.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Stopky Papírový zápisník Experimentální kolejnice Infrazářiče EUROM Safe – T – Shine 900 W (2 ks) Topná tělesa 1000 W (6 ks) Digitální termostat s teplotní sondou	
3) Cíle zkoušky	
Cílem této zkoušky ohřevu bylo doplnit sestavu topných těles o infrazářiče a sledovat, zda nedojde k rovnoměrnějšímu a plynulejšímu ohřevu Ek oproti předchozím zkouškám. Dalším cílem byla zkouška nového přístupu spočívající v dlouhodobém ohřevu trvajícím více jak 24 hodin. Dlouhodobý ohřev měl potvrdit nebo vyvrátit skutečnost, zda je při stávající konfiguraci a nastavení termostatu možné kolejnici ohřát alespoň o 10 °C.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Příprava experimentální kolejnice.</li> <li>2) Příprava a instalace všech dvojic topných těles pomocí elektricky izolovaného uchycení.</li> <li>3) Zapojení elektrického obvodu topných těles.</li> <li>4) Instalace digitálního termostatu s teplotní sondou a nastavení spínání na rozpětí 79–80 °C.</li> <li>5) Instalace dvojice infrazářičů po jedné straně zhruba ve vzdálenosti 1 m od povrchu experimentální kolejnice</li> <li>6) Příprava stopek.</li> <li>7) Příprava bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574.</li> <li>8) Realizace nulového odečtu teploty experimentální kolejnice; měření teploty před zahájením zkoušky v měřících profílech 2,4,6,8, a to na hlavě, stojině a patě kolejnice.</li> <li>9) Zapojení ohřevné soustavy do elektrické sítě, zapnutí stopek, zahájení ohřevu</li> <li>10) Průběžné měření teploty pomocí bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 a následný záznam naměřených hodnot do deníku zkoušky</li> <li>11) Připojení dvojice infrazářičů do elektrické sítě, pokračování v ohřevu.</li> <li>12) Vypojení soustavy ohřevu z elektrické sítě, ukončení zkoušky ohřevu po téměř 26 hodinách.</li> </ol>	

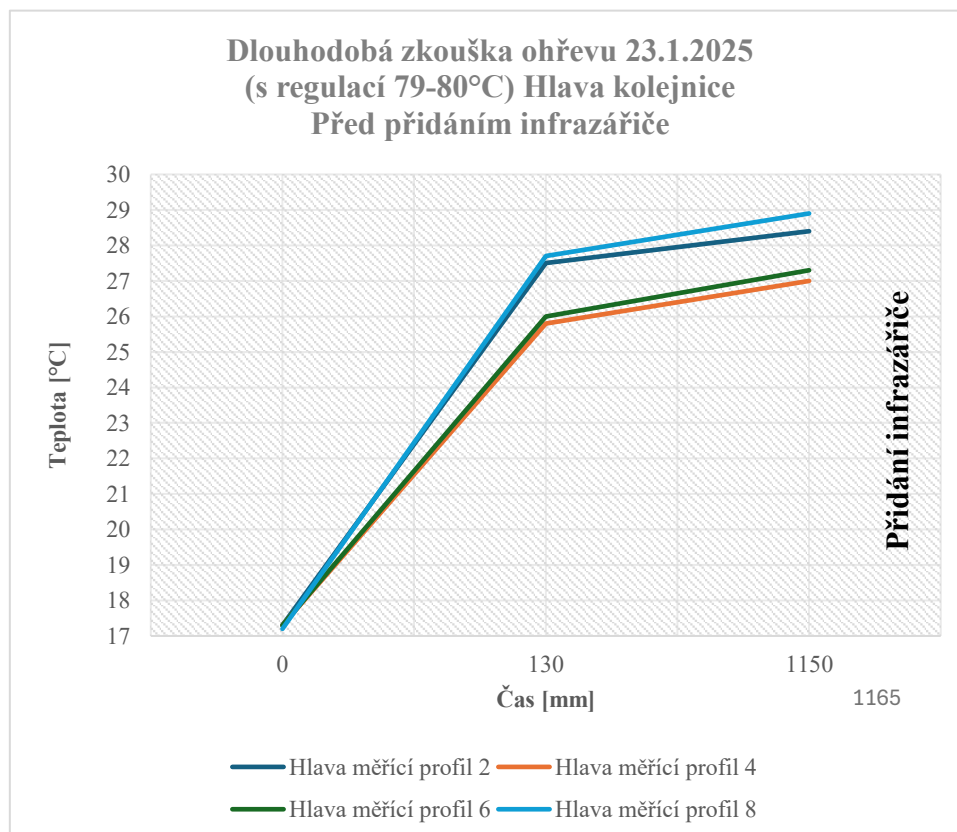
## Příloha 24.1. Zdrojová data

	Hlava měřicí profil 2	Hlava měřicí profil 4	Hlava měřicí profil 5	Hlava měřicí profil 6	Hlava měřicí profil 8	Čas měření [mm]	Datum a čas [dd.mm.rrrr hh:mm]
	17,3	17,3		17,3	17,2	0	23.01.2025 9:40
	27,5	25,8		26	27,7	130	23.01.2025 11:50
	28,4	27		27,3	28,9	1150	24.01.2025 7:00
	Přidán infrazáříč					1165	24.01.2025 7:15
strana k záříči	29,9	30,1	30,6	31,2	33,3	1180	24.01.2025 7:30
strana odvrácená od záříče	29,4	30	28,2	31,2	31,1	1185	24.01.2025 7:35
strana k záříči	32,4	34,6	33,7	36,8	34,9	1240	24.01.2025 8:30
strana odvrácená od záříče	31,6	33,5	31,7	35,1	33,7	1245	24.01.2025 8:35
strana k záříči	35,2	38,3	36,8	39,5	37	1420	24.01.2025 11:30
strana odvrácená od záříče	34,7	37,4	35,6	37,8	35,7	1425	24.01.2025 11:35

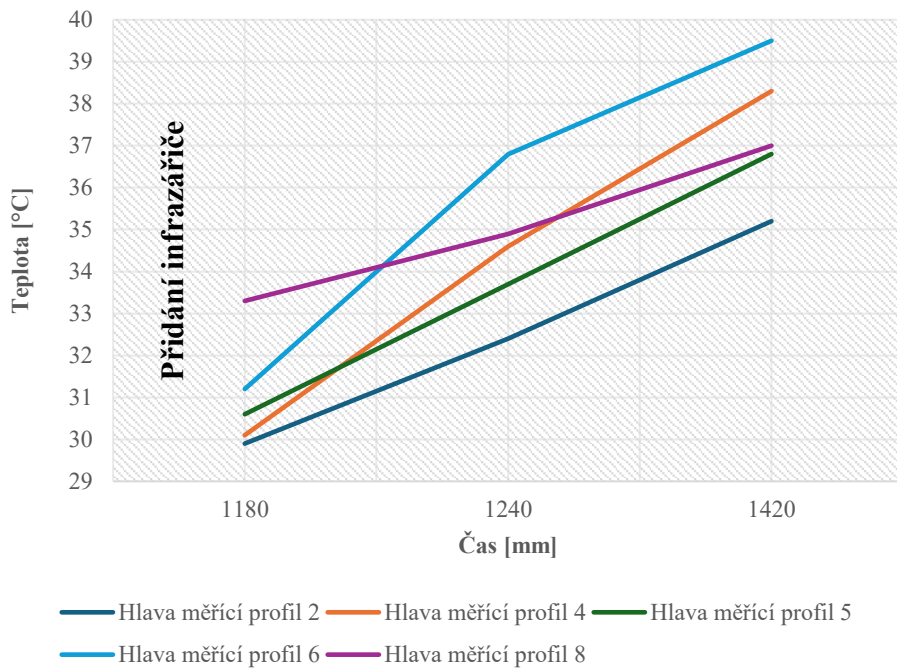
	Stojin a měřicí profil 2	Stojin a měřicí profil 4	Stojin a měřicí profil 5	Stojin a měřicí profil 6	Stojin a měřicí profil 8	Čas měřen í [mm]	Datum a čas [dd.mm.rrrr hh:mm]
	17,4	17,3		17,3	17,2	0	23.01.2025 9:40
	26,5	25,8		25,8	27,5	130	23.01.2025 11:50
	27,7	26,5		27	28	1150	24.01.2025 7:00
	Přidán infrazáříč					1165	24.01.2025 7:15
strana k záříči	29,4	29,4	27,4	32,2	30,8	1180	24.01.2025 7:30
strana odvrácená od záříče	29,2	29,3	27,8	29,8	29,9	1185	24.01.2025 7:35
strana k záříči	31,7	33,6	32,2	35,3	33,3	1240	24.01.2025 8:30
strana odvrácená od záříče	31,5	33,3	31,4	34	32,2	1245	24.01.2025 8:35
strana k záříči	34,4	38,2	35,3	38,2	35,8	1420	24.01.2025 11:30
strana odvrácená od záříče	34,6	36,4	35,2	36,6	34,3	1425	24.01.2025 11:35

	Pata měřicí profil 2	Pata měřicí profil 4	Pata měřicí profil 5	Pata měřicí profil 6	Pata měřicí profil 8	Čas měření [mm]	Datum a čas [dd.mm.rrrr hh:mm]
	17,4	17,3		17,3	17,3	0	23.01.2025 9:40
	25,6	24,7		24,6	26,5	130	23.01.2025 11:50
	26,8	25,6		25,9	26,4	1150	24.01.2025 7:00
	Přidán infrazářič					1165	24.01.2025 7:15
strana k zářiči	28,2	28	26,6	29,3	29,9	1180	24.01.2025 7:30
strana odvrácená od zářiče	27,7	27,7	26,5	28,3	28,6	1185	24.01.2025 7:35
strana k zářiči	30,5	32,3	31	33,3	32,2	1240	24.01.2025 8:30
strana odvrácená od zářiče	29	31,2	29,8	31,5	31,2	1245	24.01.2025 8:35
strana k zářiči	32,5	35,8	34,3	36,1	33,6	1420	24.01.2025 11:30
strana odvrácená od zářiče	32	34,3	33,3	34,8	32,7	1425	24.01.2025 11:35

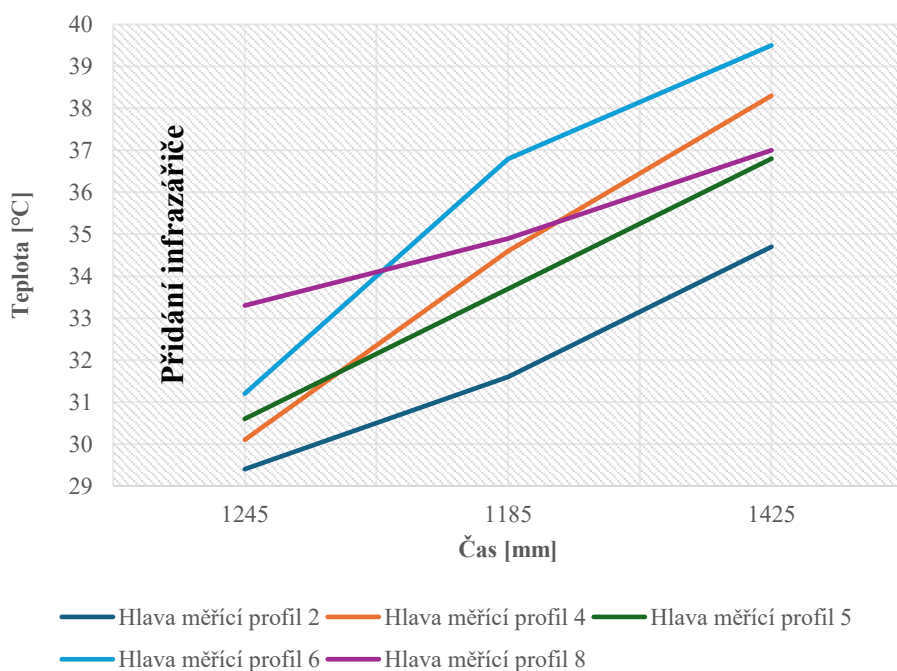
## Příloha 24.2. Grafy



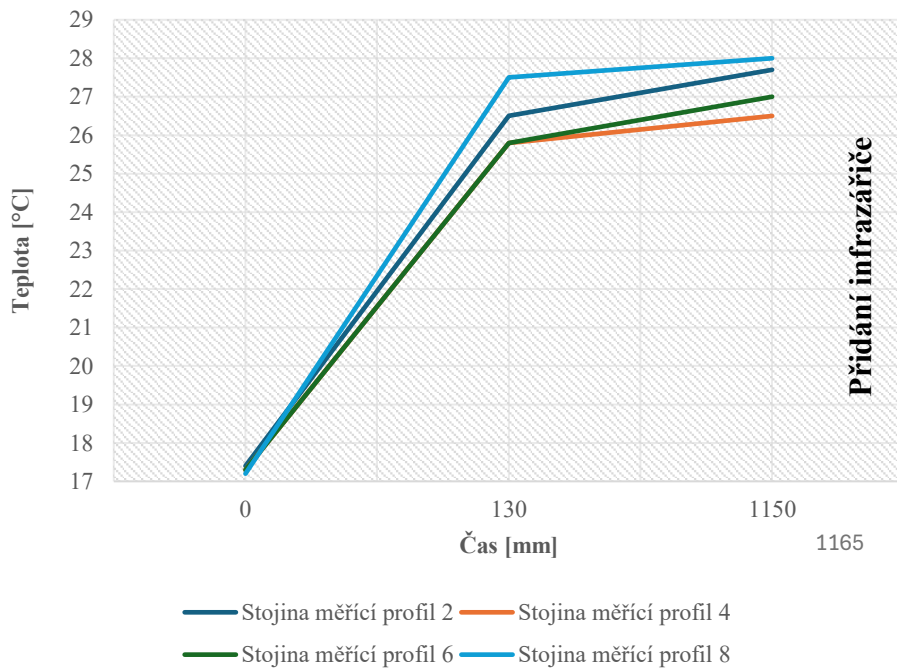
**Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Hlava kolejnice  
Po přidání infrazářiče - osvětlená strana**



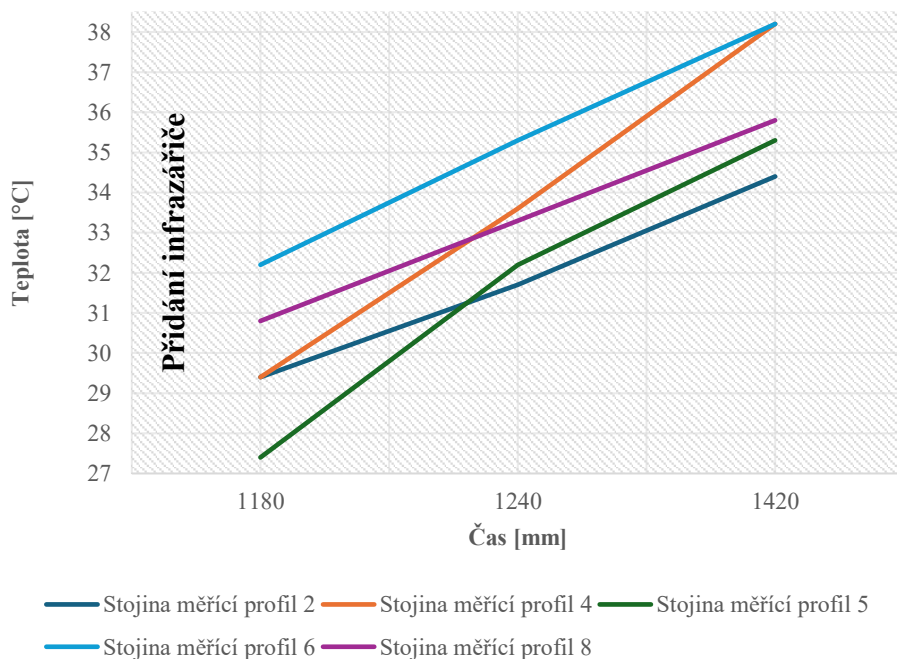
**Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Hlava kolejnice  
Po přidání infrazářiče - odvrácená strana**



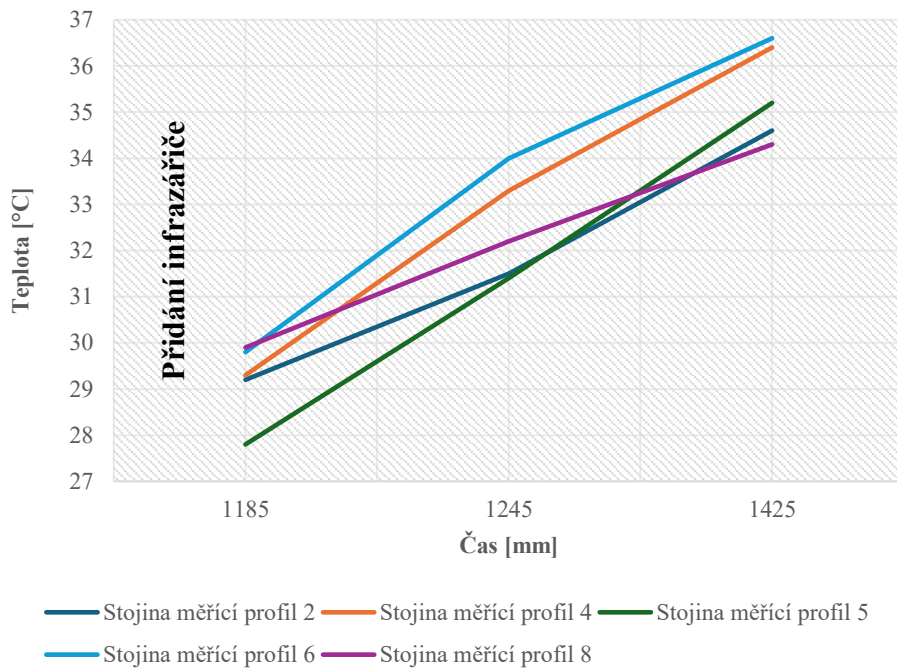
**Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Stojina kolejnice  
Před přidáním infrazářiče**



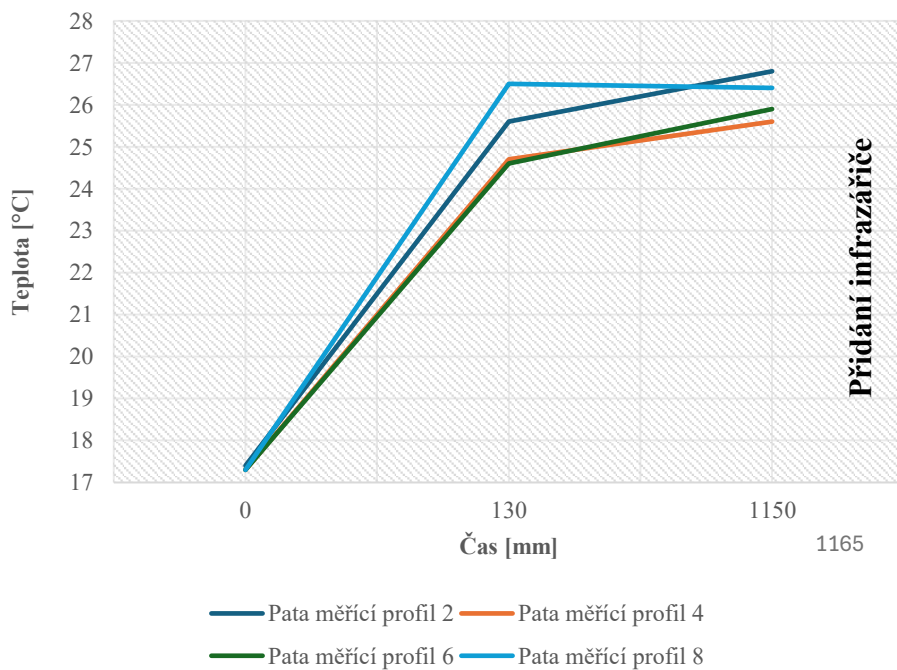
**Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Stojina kolejnice  
Po přidání infrazářiče - osvětlená strana**



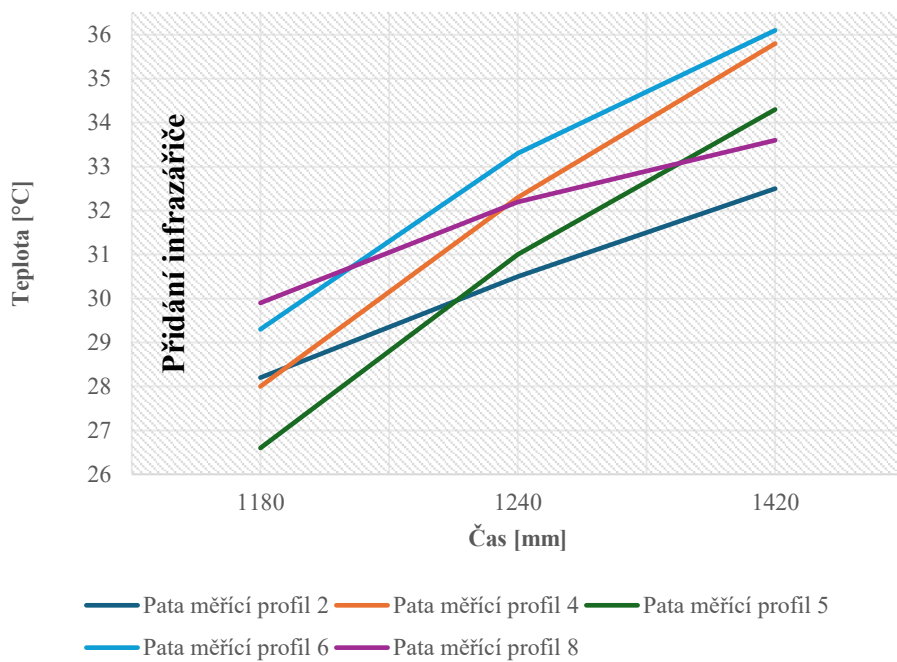
**Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Stojina kolejnice  
Po přidání infrazářiče - odvrácená strana**



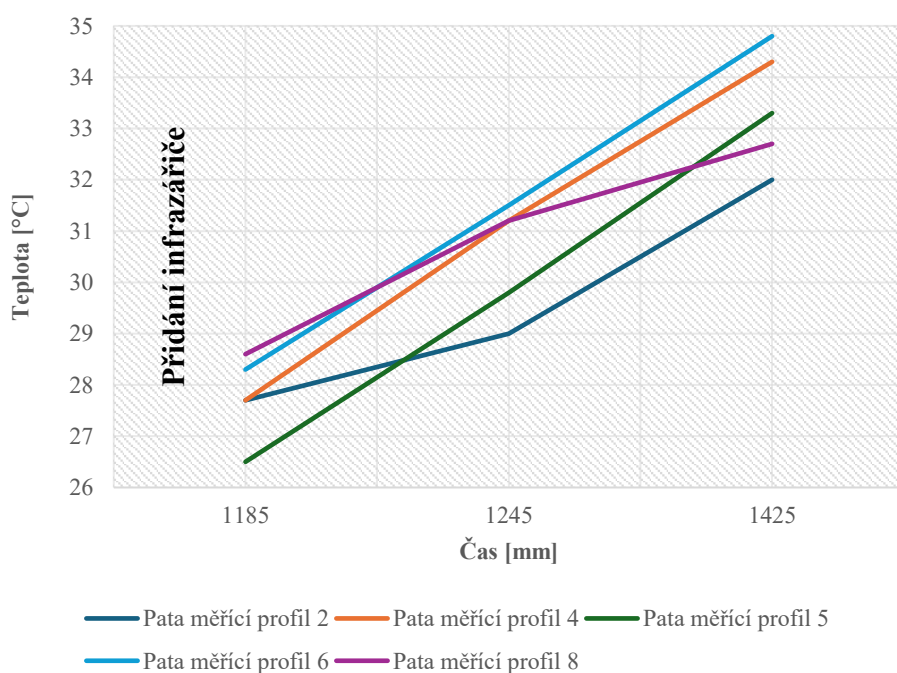
**Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Pata kolejnice  
Před přidáním infrazářiče**



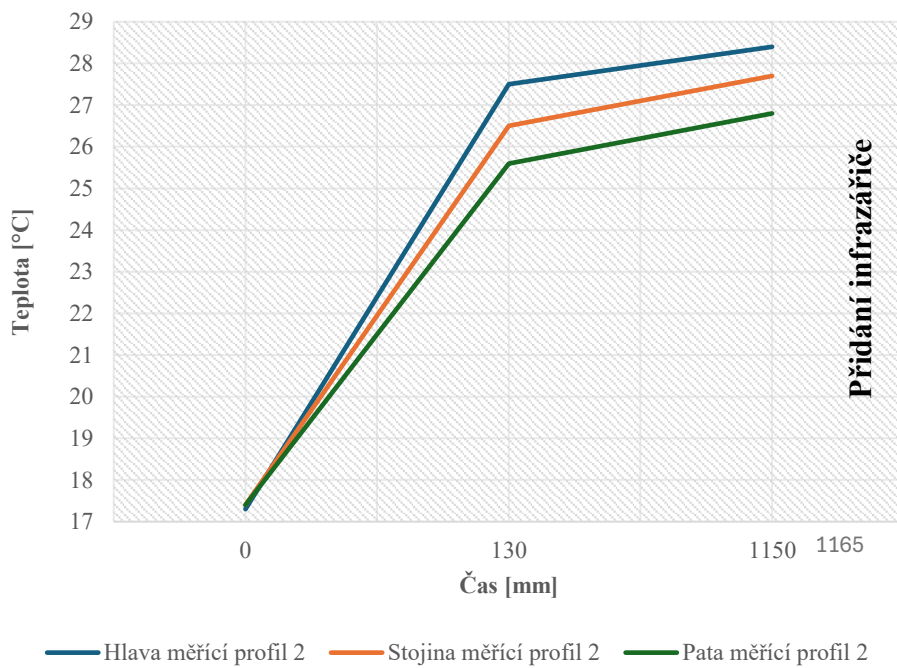
**Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Pata kolejnice  
Po přidání infrazářiče - osvětlená strana**



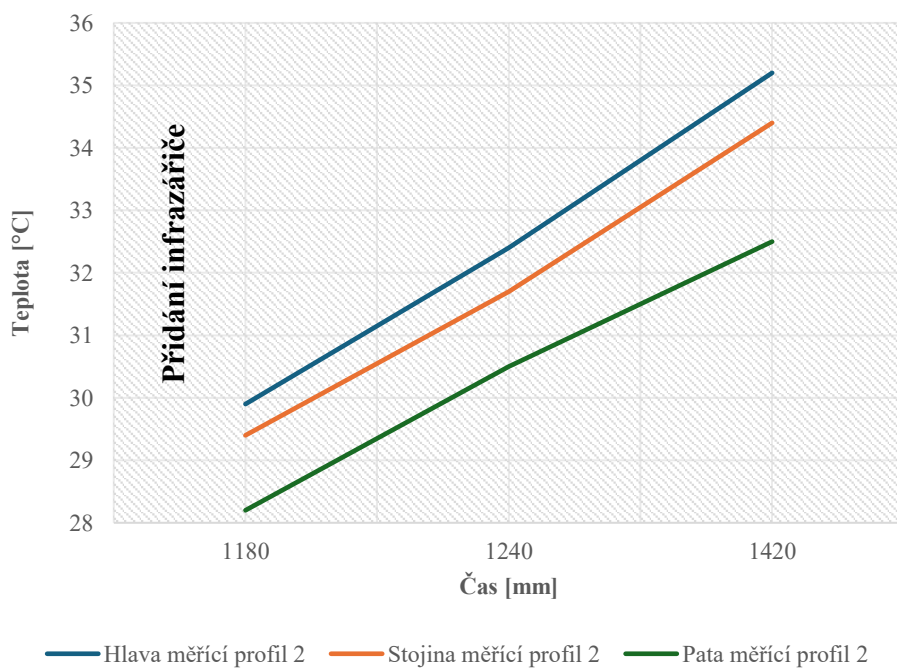
**Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Pata kolejnice  
Po přidání infrazářiče - odvrácená strana**



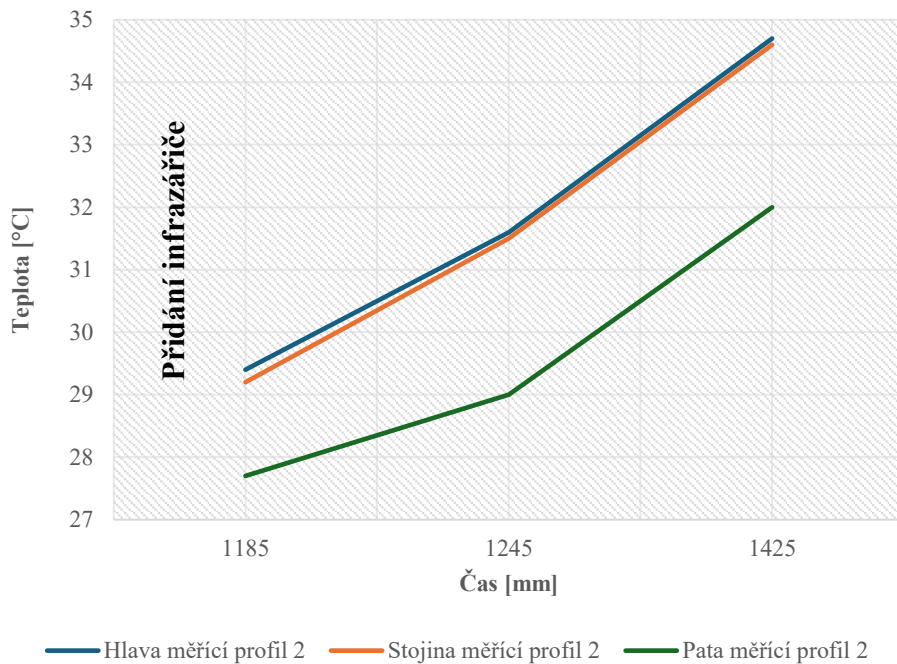
**Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Měřící profil 2  
Před přidáním infrazářiče**



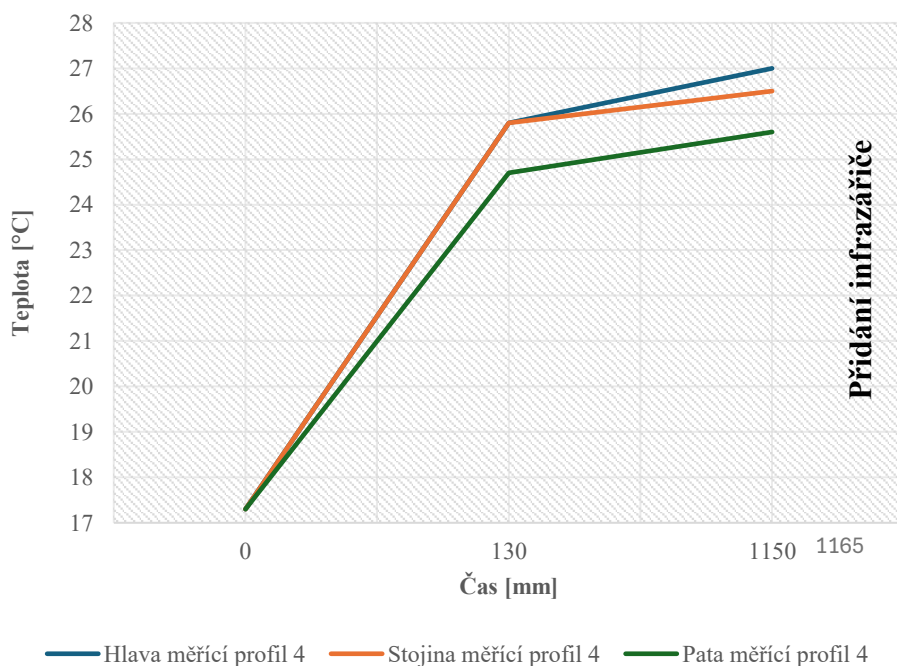
**Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Měřící profil 2  
Po přidání infrazářiče - osvětlená strana**



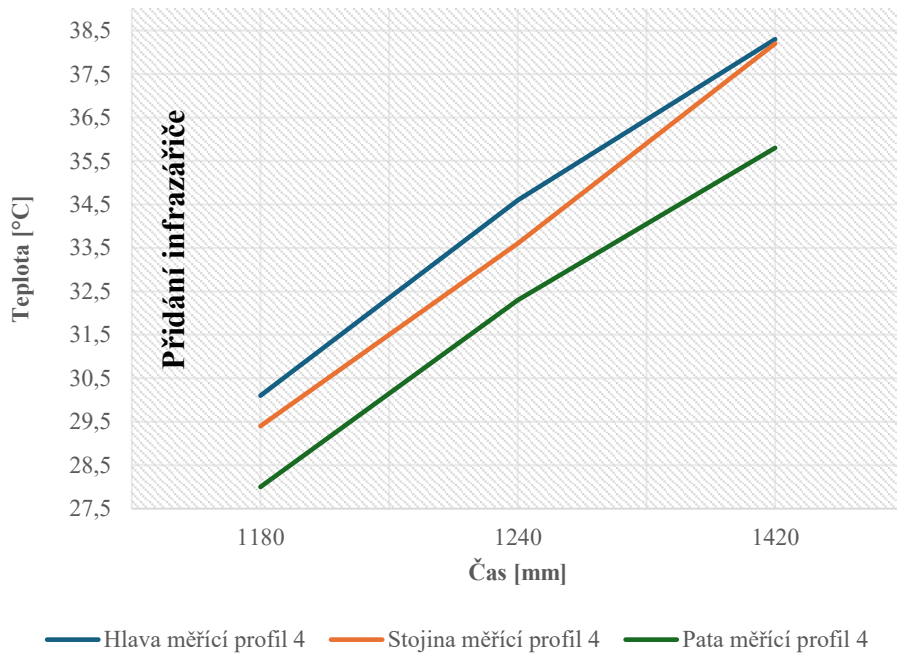
**Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Měřící profil 2  
Po přidání infrazářiče - odvrácená strana**



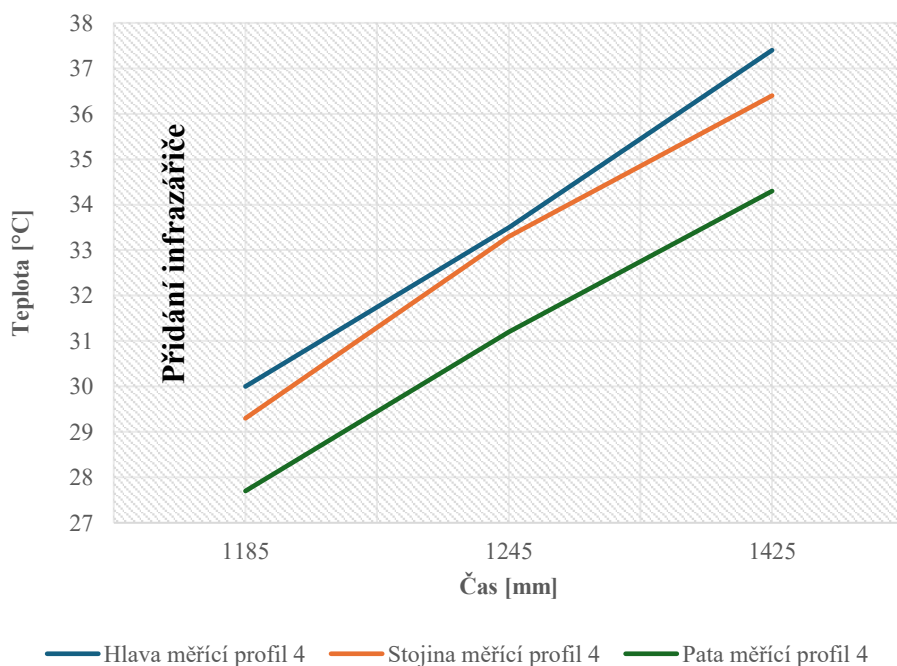
**Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Měřící profil 4  
Před přidáním infrazářiče**



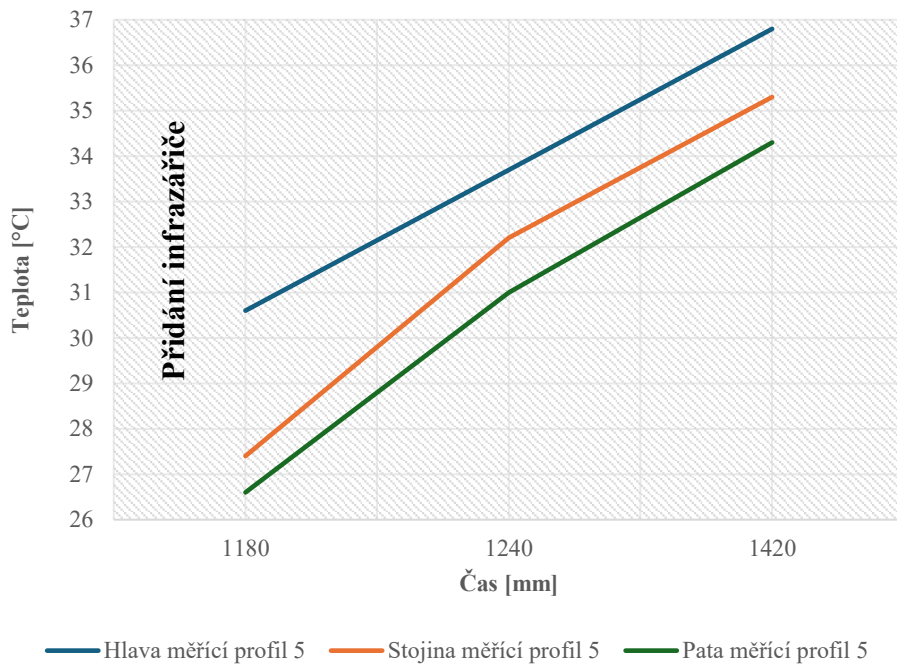
Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Měřicí profil 4  
Po přidání infrazářiče - osvětlená strana



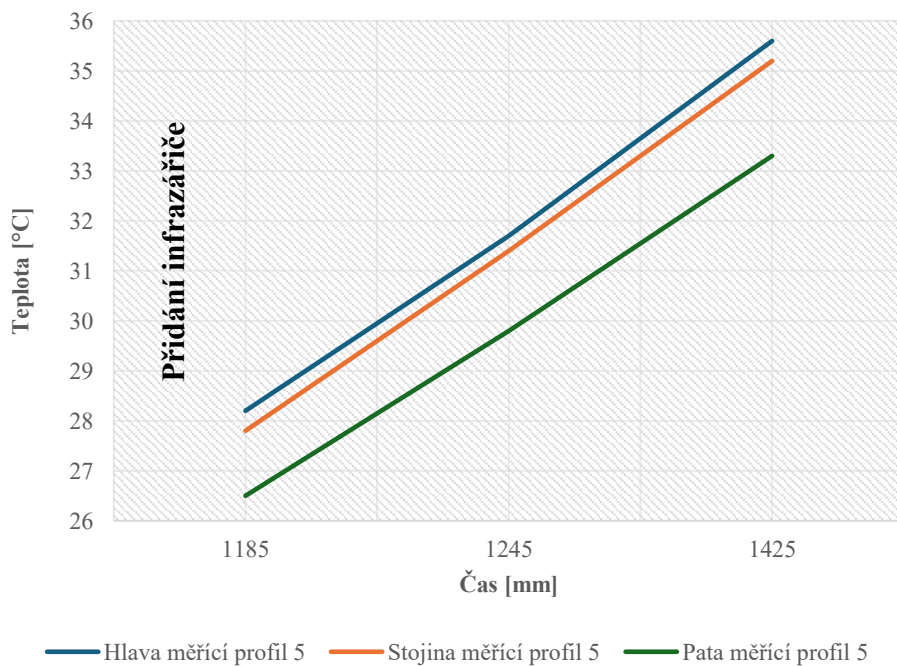
Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Měřicí profil 4  
Po přidání infrazářiče - odvrácená strana



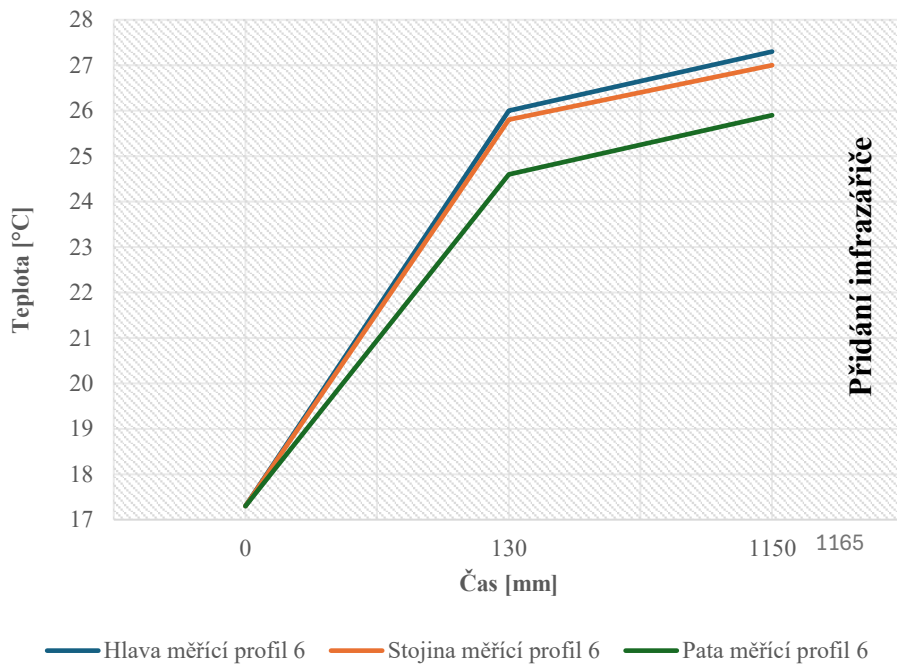
Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Měřicí profil 5  
Po přidání infrazářiče - osvětlená strana



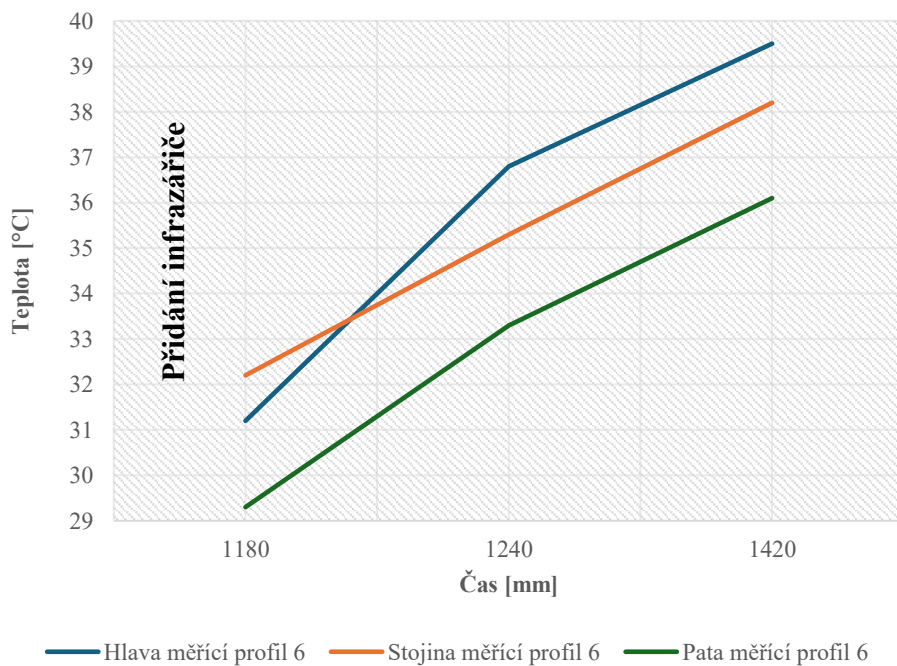
Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Měřicí profil 5  
Po přidání infrazářiče - odvrácená strana



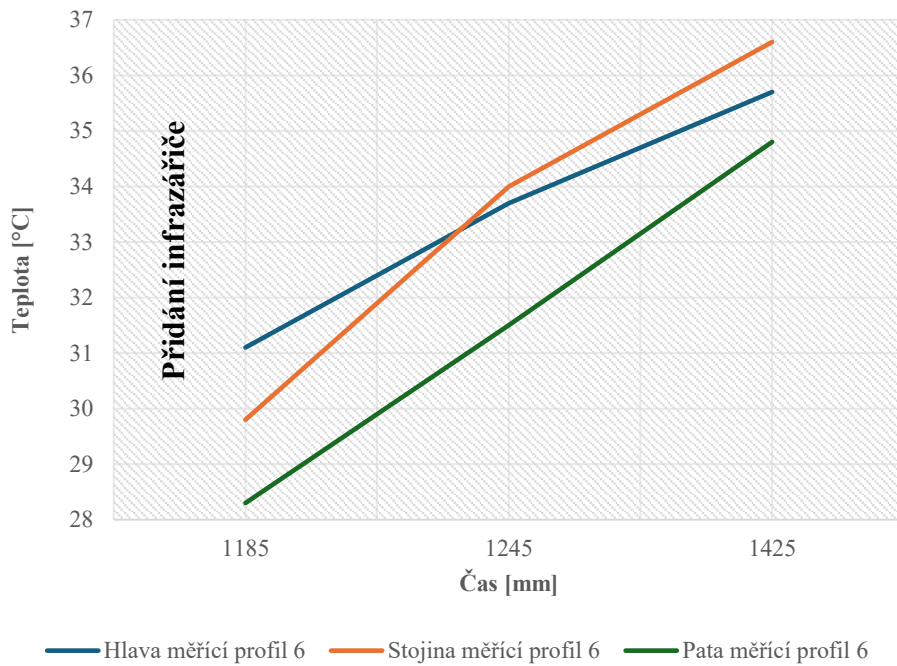
**Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Měřicí profil 6  
Před přidáním infrazářiče**



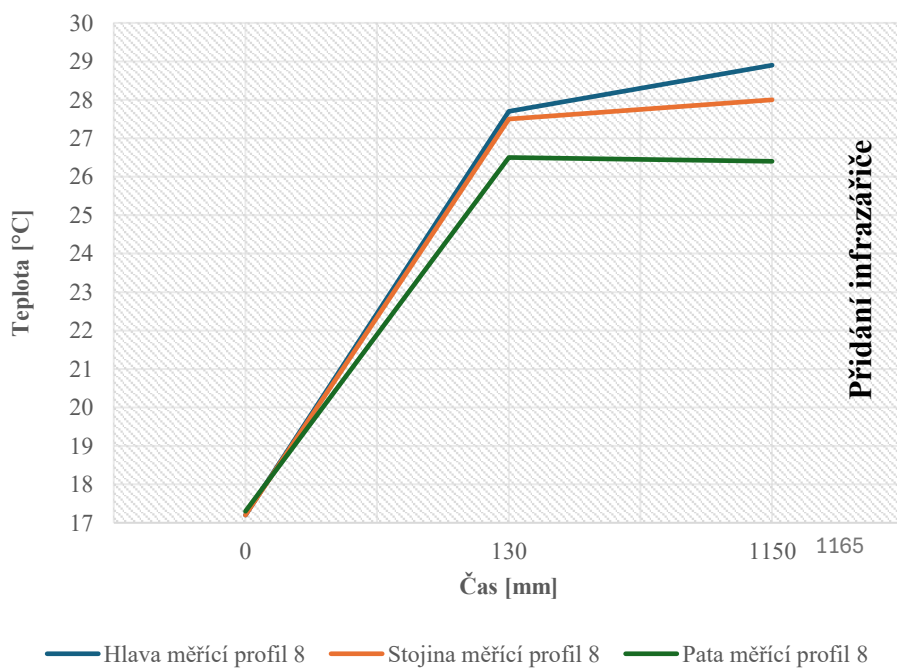
**Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Měřicí profil 6  
Po přidání infrazářiče - osvětlená strana**



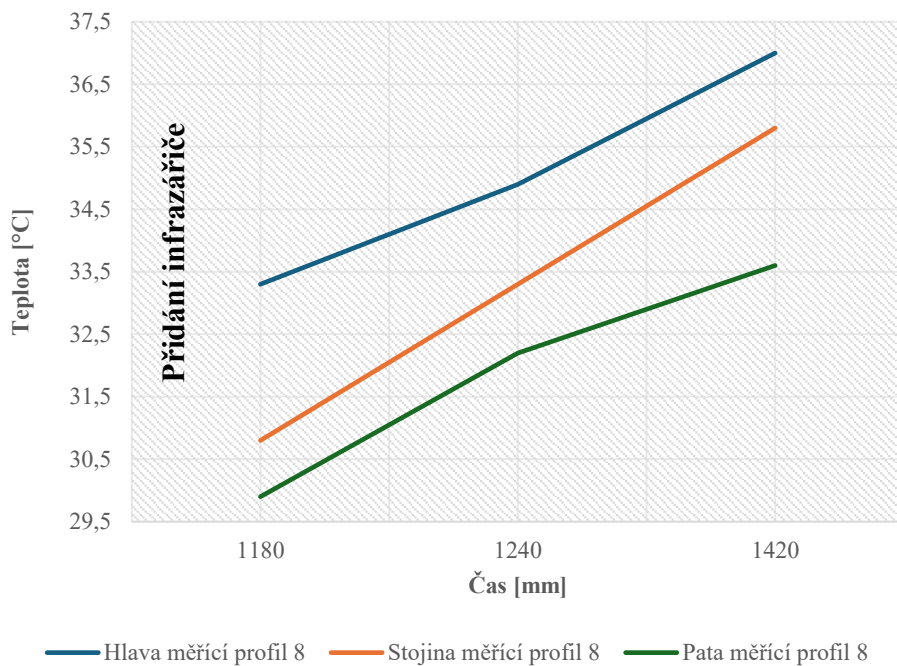
Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Měřící profil 6  
Po přidání infrazářiče - odvrácená strana



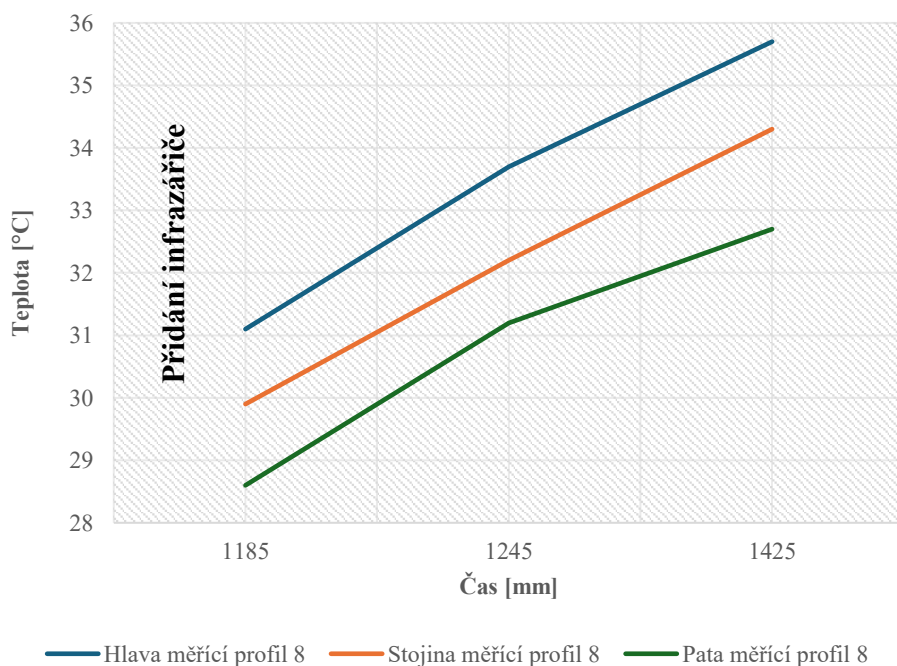
Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Měřící profil 8  
Před přidáním infrazářiče



Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Měřicí profil 8  
Po přidání infrazářiče - osvětlená strana



Dlouhodobá zkouška ohřevu 23.1.2025  
(s regulací 79-80°C) Měřicí profil 8  
Po přidání infrazářiče - odvrácená strana



### **Příloha 24.3. Závěr**

Z naměřených dat dlouhodobé zkoušky ohřevu je patrný nejvyšší nárůst teploty v prvních 130 minutách měření a následná stagnace. Tento fenomén se vyskytuje u všech zkoušek ohřevu s regulací pomocí digitálních termostatů, a to bez ohledu na jejich nastavení. Vždy totiž dojde k největšímu nárůstu teploty experimentální kolejnice v prvních cyklech sepnutí digitálního termostatu. Teplota Ek se během těchto cyklů dostane do rozmezí odpovídajícího nastavení termostatů a následně stagnuje v podobě mírného krátkodobého ohřevu a následného chladnutí. Nejedná se tedy o plynulý, v čase rovnoměrně rostoucí ohřev.

Po doplnění ohřevné soustavy o dvojici infrazářičů z jedné strany Ek došlo k růstu její teploty již po zbytek zkoušky. V ten moment se také začala sledovat teplota na měřícím profilu 5 a také na druhé straně kolejnice. Strany kolejnice se tedy rozdělily na osvícenou (dvojici infrazářičů) a odvrácenou.

Téměř konstantní růst teploty Ek po přidání infrazářičů je nezpochybnitelně pozitivní, nicméně je nutné si všimnout teplotních rozdílů na stranách Ek, a také na jednotlivých měřících profilech. Osvícená strana Ek pochopitelně vykazuje vyšší teploty než strana odvrácená. Po přidání infrazářičů se také začal prohlubovat teplotní rozdíl mezi patou kolejnice a jejím zbytkem. Tuto skutečnost připisuji menší ploše a špatnému úhlu paty kolejnice vůči infrazářičům, což ve výsledku způsobuje menší ohřev v těchto místech. Nelze si také nevšimnout rozdílů teplot v jednotlivých měřících profilech. Zde byly naměřeny vyšší teploty především v profilech 4 a 6. Důvodem k tomu je nejmenší vzdálenost těchto měřících profilů od infrazářičů, což při zvážení jejich tvaru a technických specifikací nelze tyto teplotní rozdíly odfiltrovat.

**Příloha 24.4. Deník zkoušky**

23.1.2025

Postupně zvyšování teploty na termostatu, napuštěná  
 50°, pak 80°, pak 90°, při startu, spodní 77° C  
 00:00

9:40	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	2	4	6	8	10	12
hlava	17,3	17,3	17,3	17,2	17,2	17,2
stojina	17,4	17,3	17,3	17,2		
pata	17,4	17,3	17,3	17,3		

17:50

23.7.2025

16:20

	2	4	6	8	5	
hlava	27,5	25,8	26,0	27,7		
stojina	26,5	25,8	25,8	26,5 27,5		
pata	25,6	24,7	24,6	26,5	0,25	

24.7.2025

7:00

→ chová tural celou noc

	2	4	6	8	5	
hlava	28,4	27,0	27,3	26,9		
stojina	27,7	26,5	27,0	28,0		
pata	26,8	25,6	25,5	26,4		

225

8:30

29.7.2025

③

Strana k zářici

	2	4	6	8	5
hlava	32,4	34,6	<del>36,8</del> <del>37,7</del>	34,9	33,7
stojina	37,7	33,6	<del>B</del> 35,3	33,3	32,2
pata	30,5	32,3	<del>32,3</del>	32,2	31,0

Strana od zářice

	2	4	6	8	5
hlava	31,6	33,5	35,1	33,7	31,7
stojina	37,5	33,3	34,0	32,7	31,4
pata	29,0	31,2	31,5	<del>30</del> 31,2	29,8

5  
11:30

24.7.2025

4  
12:12

Strana k zářici

	2	4	6	8	5
hlava	352	383	385	370	368
stojina	34,4	38,2	38,2	358	353
pata	325	358	36,1	33,6	37,3

Strana odlučena

11:35

Strana odlučena

12:32

	2	4	6	8	5
hlava	39,7	32,4	32,8	35,2	35,6
stojina	39,6	36,4	36,6	34,3	35,2
pata	32,0	34,3	34,8	32,7	33,3

## Příloha 25. Zkouška ohřevu Ek pouze pomocí dvojice infrazářičů

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu Ek pouze pomocí dvojice infrazářičů
Datum zkoušky:	29.1.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Stopky Papírový zápisník Experimentální kolejnice Infrazářiče EUROM Safe – T – Shine 900 W (2 ks)	
3) Cíle zkoušky	
Cílem této zkoušky bylo ověření možnosti použití pouze dvojice infrazářičů pro ohřev Ek. Tato možnost vyplynula z poznatků předchozích zkoušek.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"><li>1) Příprava experimentální kolejnice.</li><li>2) Instalace dvojice infrazářičů po jedné straně zhruba ve vzdálenosti 1 m od povrchu experimentální kolejnice.</li><li>3) Příprava stopek.</li><li>4) Příprava bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574.</li><li>5) Realizace nulového odečtu teploty experimentální kolejnice; měření teploty před zahájením zkoušky v měřících profílech 2,4,6,8, a to na hlavě, stojně a patě kolejnice.</li><li>6) Připojení dvojice infrazářičů do elektrické sítě, pokračování v ohřevu.</li><li>7) Průběžné měření teploty pomocí bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 a následný záznam naměřených hodnot do deníku zkoušky.</li><li>8) Vypojení soustavy ohřevu z elektrické sítě, ukončení zkoušky ohřevu po téměř 85 minutách.</li></ol>	

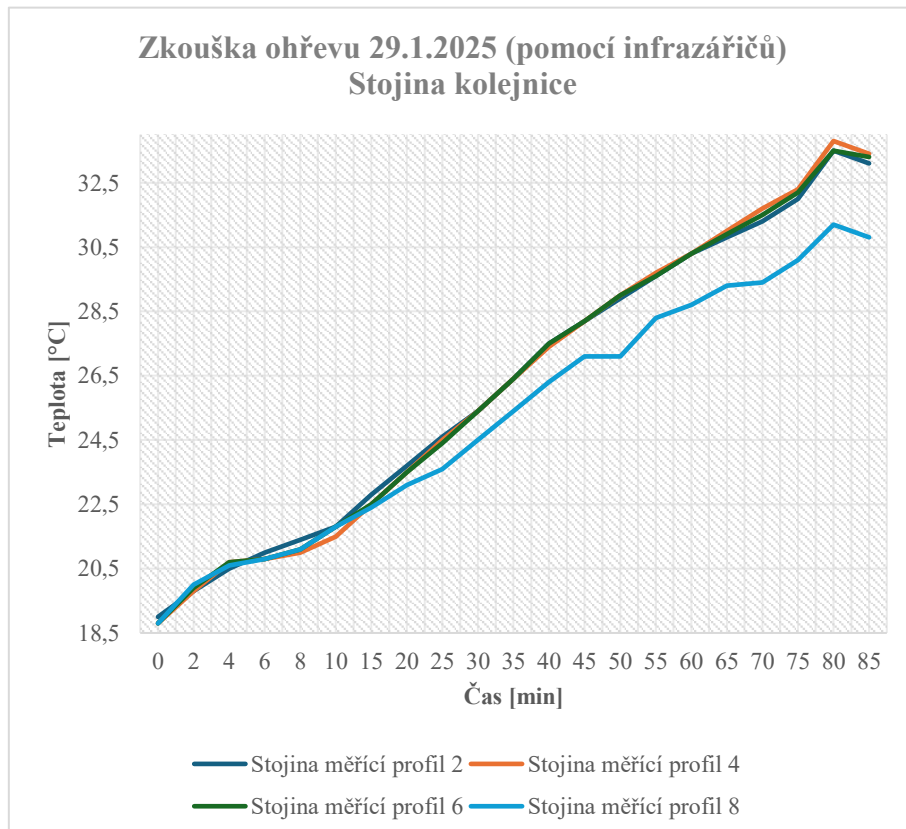
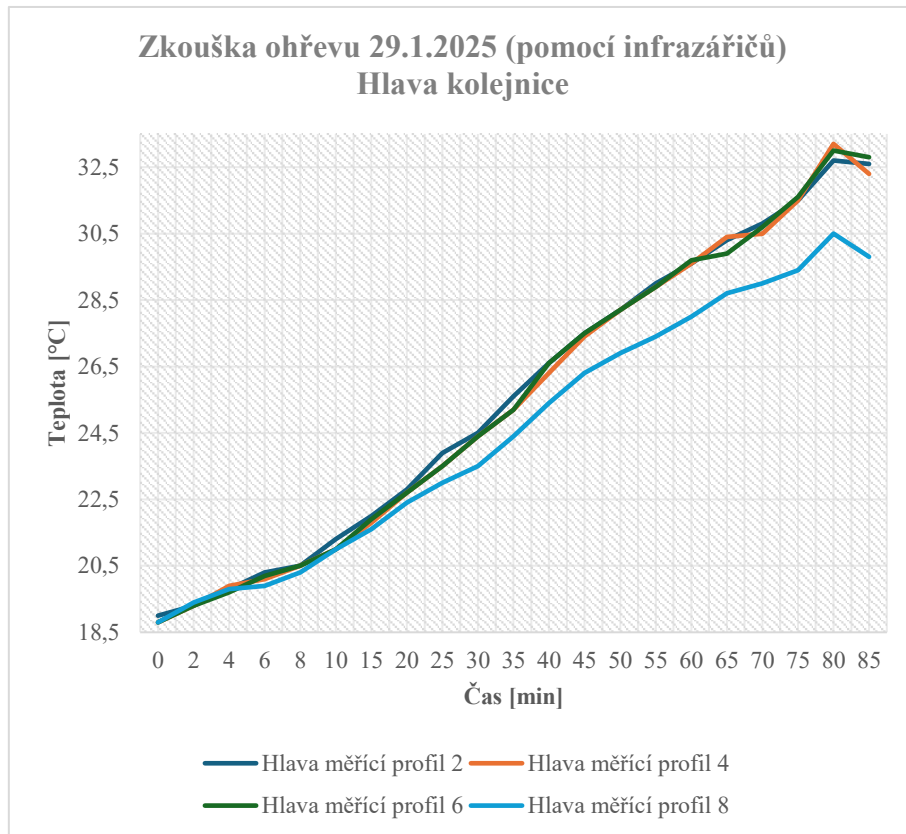
## Příloha 25.1. Zdrojová data

Hlava měřící profil 2	Hlava měřící profil 4	Hlava měřící profil 6	Hlava měřící profil 8	Čas měření [mm]
19	18,8	18,8	18,8	0
19,3	19,3	19,3	19,4	2
19,8	19,9	19,7	19,8	4
20,3	20,1	20,2	19,9	6
20,5	20,5	20,5	20,3	8
21,3	21	21	21	10
22	21,8	21,9	21,6	15
22,8	22,7	22,7	22,4	20
23,9	23,5	23,5	23	25
24,5	24,4	24,4	23,5	30
25,6	25,2	25,2	24,4	35
26,6	26,3	26,6	25,4	40
27,5	27,4	27,5	26,3	45
28,2	28,2	28,2	26,9	50
29	28,9	28,9	27,4	55
29,6	29,6	29,7	28	60
30,3	30,4	29,9	28,7	65
30,8	30,5	30,7	29	70
31,5	31,5	31,6	29,4	75
32,7	33,2	33	30,5	80
32,6	32,3	32,8	29,8	85

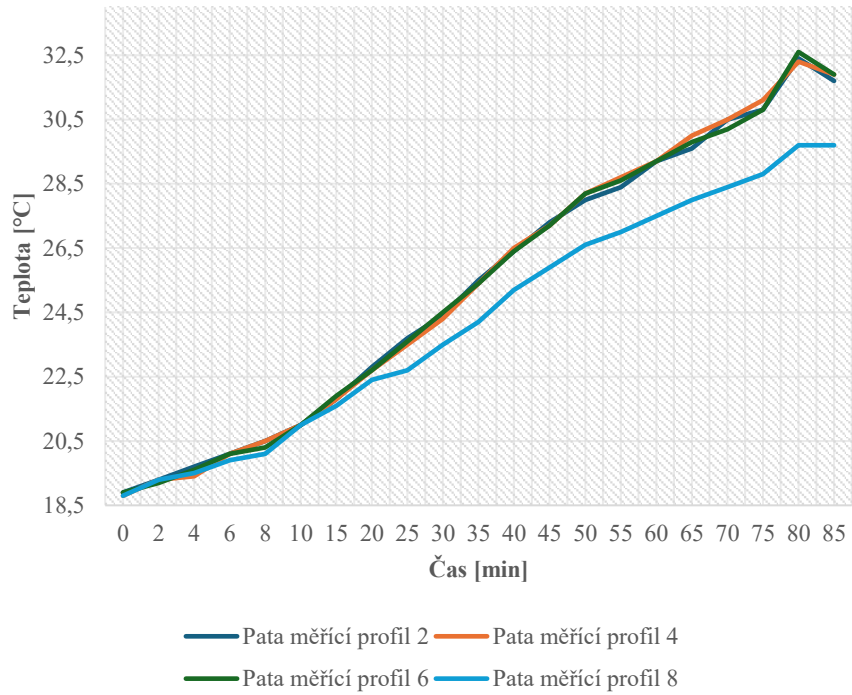
Stojina měřicí profil 2	Stojina měřicí profil 4	Stojina měřicí profil 6	Stojina měřicí profil 8	Čas měření [mm]
19	18,8	18,8	18,8	0
19,8	19,8	19,9	20	2
20,5	20,7	20,7	20,6	4
21	20,8	20,8	20,8	6
21,4	21	21,1	21,1	8
21,8	21,5	21,8	21,8	10
22,8	22,5	22,5	22,4	15
23,7	23,5	23,5	23,1	20
24,6	24,5	24,4	23,6	25
25,4	25,4	25,4	24,5	30
26,4	26,4	26,4	25,4	35
27,5	27,4	27,5	26,3	40
28,2	28,2	28,2	27,1	45
28,9	29	29	27,1	50
29,6	29,7	29,6	28,3	55
30,3	30,3	30,3	28,7	60
30,8	31	30,9	29,3	65
31,3	31,7	31,5	29,4	70
32	32,3	32,2	30,1	75
33,5	33,8	33,5	31,2	80
33,1	33,4	33,3	30,8	85

Pata měřicí profil 2	Pata měřicí profil 4	Pata měřicí profil 6	Pata měřicí profil 8	Čas měření [mm]
18,9	18,8	18,9	18,8	0
19,3	19,3	19,2	19,3	2
19,7	19,4	19,6	19,5	4
20,1	20,1	20,1	19,9	6
20,5	20,5	20,3	20,1	8
21	21	21	21	10
21,8	21,8	21,9	21,6	15
22,8	22,7	22,7	22,4	20
23,7	23,5	23,6	22,7	25
24,4	24,3	24,5	23,5	30
25,5	25,4	25,4	24,2	35
26,4	26,5	26,4	25,2	40
27,3	27,2	27,2	25,9	45
28	28,2	28,2	26,6	50
28,4	28,7	28,6	27	55
29,2	29,2	29,2	27,5	60
29,6	30	29,8	28	65
30,5	30,5	30,2	28,4	70
30,8	31,1	30,8	28,8	75
32,4	32,3	32,6	29,7	80
31,7	31,9	31,9	29,7	85

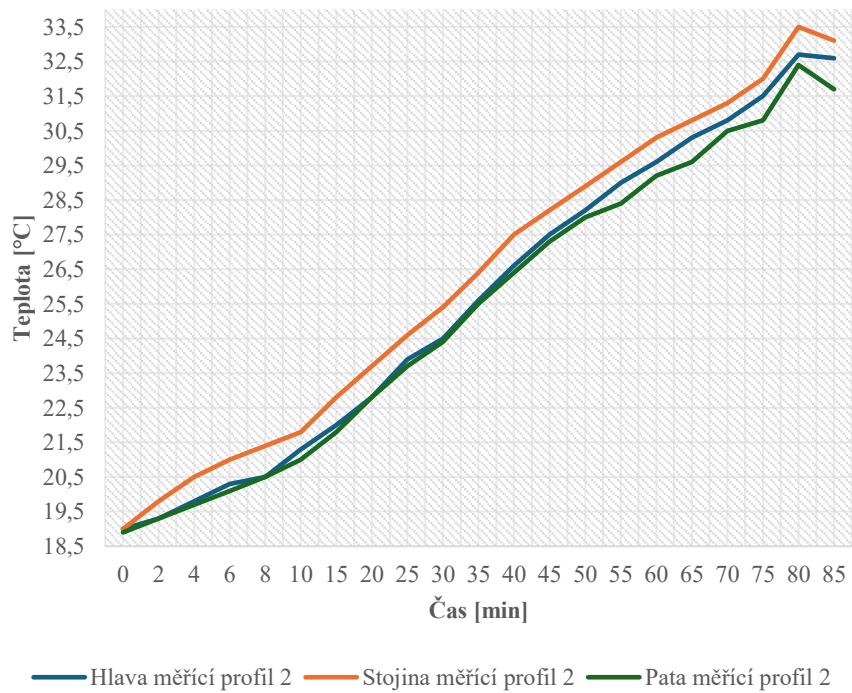
## Příloha 25.2. Grafy



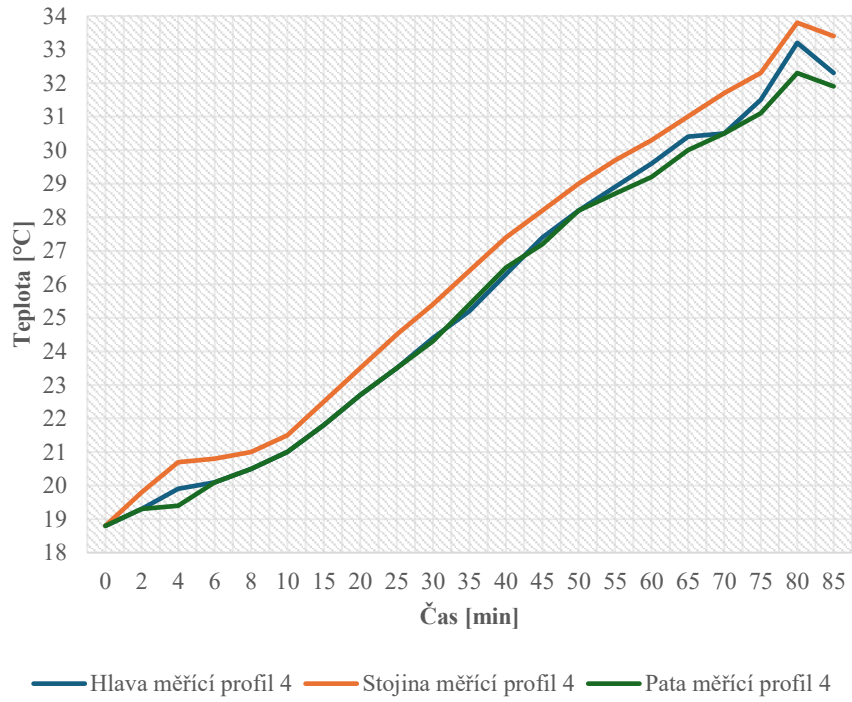
Zkouška ohřevu 29.1.2025 (pomocí infrazářičů)  
Pata kolejnice



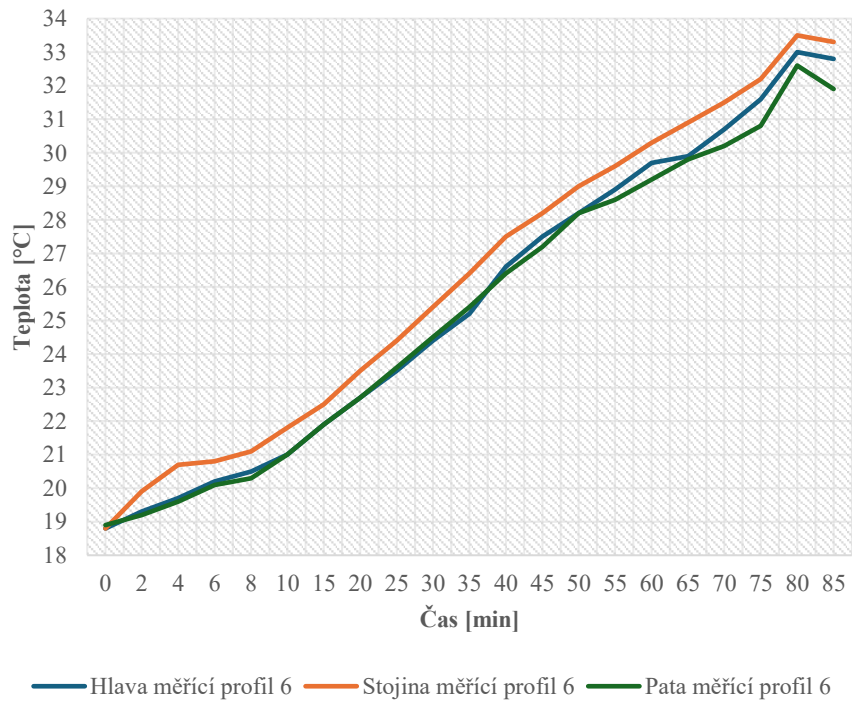
Zkouška ohřevu 29.1.2025 (pomocí infrazářičů)  
Měřící profil 2

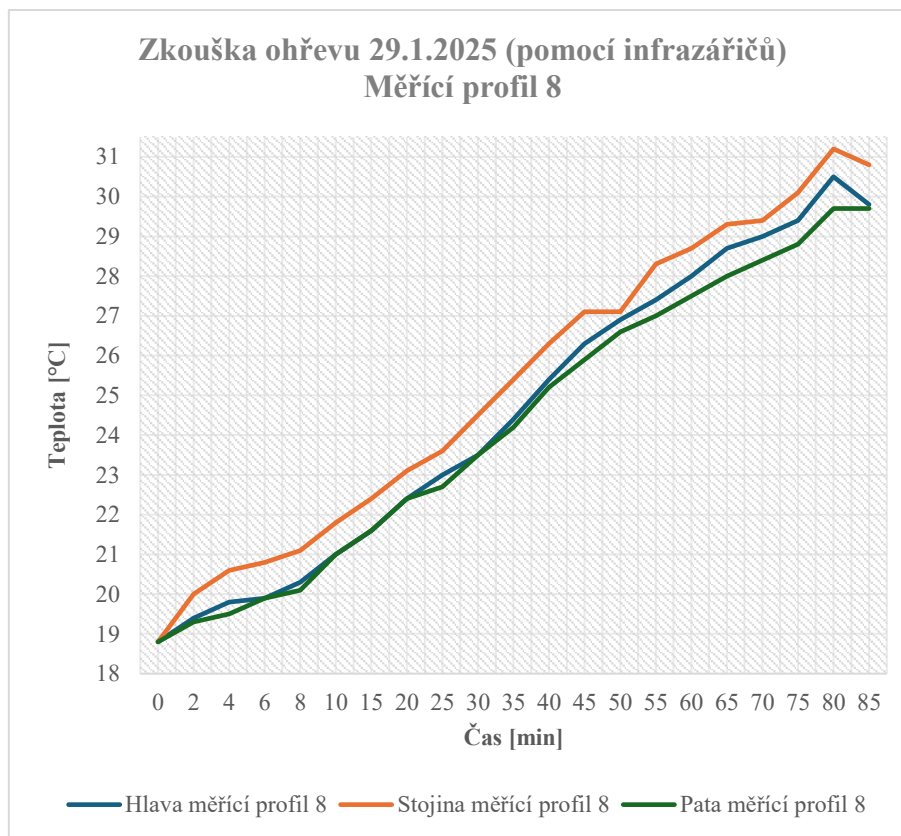


Zkouška ohřevu 29.1.2025 (pomocí infrazářičů)  
Měřící profil 4



Zkouška ohřevu 29.1.2025 (pomocí infrazářičů)  
Měřící profil 6



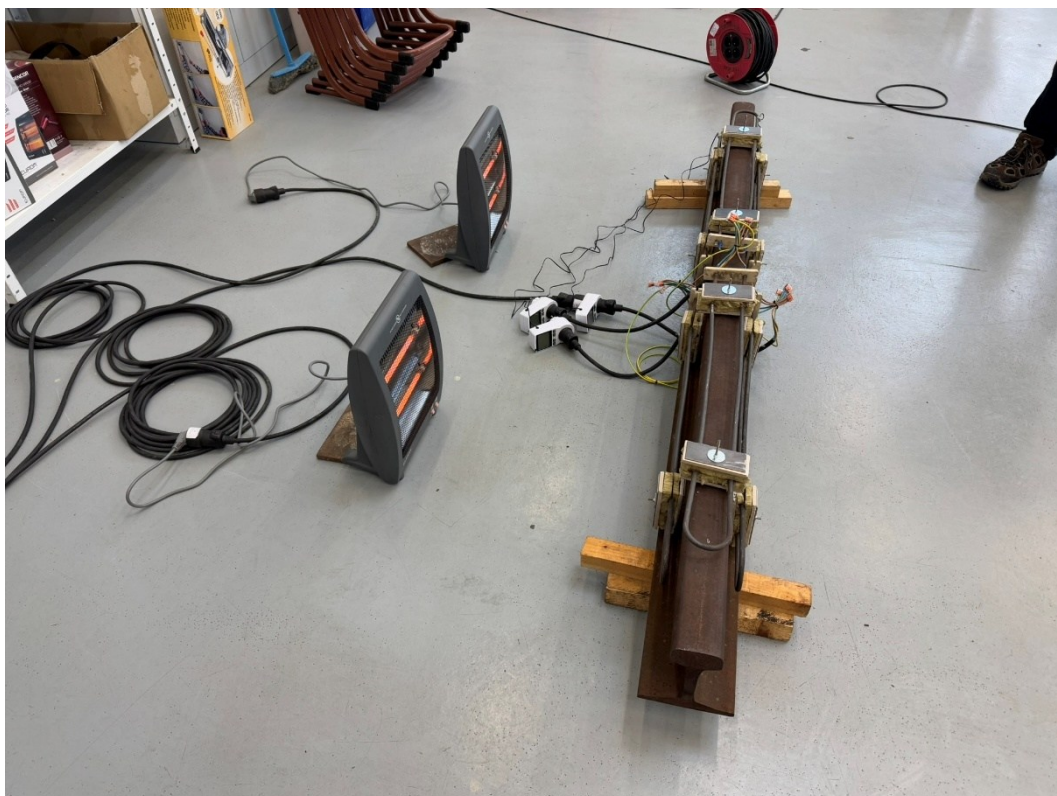


### Příloha 25.3. Závěr

Ověření použitelnosti dvojice infrazářičů pro ohřev experimentální kolejnice dopadlo velmi dobře. Z naměřených dat lze pozorovat plynulý rovnoměrný ohřev napříč měřicími profily i místy na kolejnici. U grafů zahrnujících data z jednotlivých měřicích profilů lze pozorovat vyšší teploty na stojině kolejnice oproti hlavě a patě. To je způsobeno větší plochou a menší tloušťkou stojiny kolejnice oproti ostatním zmíněným, což při ohřevu tímto způsobem hraje roli. Zároveň také lze pozorovat nižší teploty na měřicím profilu 8 a to především v druhé polovině zkoušky ohřevu. Tato skutečnost vypovídá o důležitosti správného umístění infrazářičů před kolejnicí tak, aby kolejnice byla osvětlena co možná nejvíce rovnoměrně. V případě použití dvou infrazářičů však nikdy nebude dosaženo rovnoměrného ohřevu po celé délce Ek a data z měřicího profilu 8 jsou toho důkazem.

Nelze také zapomínat na skutečnost teplotních rozdílů na osvětlené a odvrácené straně kolejnice. Při této zkoušce ohřevu nebyla zaznamenána data z osvětlené strany kolejnice, nicméně teplotní rozdíly se zde z podstaty věci vyskytovaly.

## Příloha 25.4. Fotodokumentace



**Příloha 25.5. Deník zkoušky**

	1	2	3	4		1	2	3	4
9 <sup>00</sup> H S P	19,0	18,8	18,8	18,8	+35 <sup>min</sup> 11	25,6	25,2	25,2	24,24
	19,0	18,8	18,8	18,8		26,4	26,4	26,4	25,4
	18,9	18,8	18,9	18,8		25,5	25,4	25,4	24,2
+2 <sup>min</sup> Z	19,3	19,3	19,3	19,4	+40 <sup>min</sup> 12	26,6	26,3	26,6	25,4
19,8	19,8	19,9	20,0	27,5		27,4	27,5	24,3	
19,3	19,3	19,2	19,3	26,4		26,5	26,4	25,2	
+4 <sup>min</sup> 3	19,8	19,4	19,7	19,8	+45 <sup>min</sup> 13	27,5	27,4	27,5	26,3
20,5	20,7	20,7	20,6	28,2		28,2	28,2	<del>27,1</del>	
19,7	19,4	19,6	19,5	27,3		27,2	27,2	25,9	
+6 <sup>min</sup> 4	20,3	20,1	20,2	19,9	+50 <sup>min</sup> 14	28,2	28,2	28,2	26,9
21	20,8	20,8	20,8	28,9		29,0	29,0	27,1	
20,1	20,1	20,1	19,9	28,0		28,2	28,2	26,6	
+8 <sup>min</sup> 5	20,5	20,5	20,5	20,3	+55 <sup>min</sup> 15	29,0	28,9	28,9	27,4
21,4	21,0	21,1	21,1	29,6		29,7	<del>29,6</del>	28,3	
20,5	20,5	20,3	20,1	28,4		28,7	28,6	27,0	
6	21,3	21,0	21,0	21,0	+1.00 16	29,6	29,6	29,7	28,0
	21,8	21,5	21,8	21,8		30,3	30,3	30,3	28,7
	21,0	21,0	21,0	21,0		29,2	29,2	29,2	27,5
+10 <sup>min</sup> 7	22,0	21,8	21,9	21,6	+65 <sup>min</sup> 17	30,3	30,4	29,9	28,7
22,8	22,5	22,5	22,4	30,8		31,0	30,9	29,3	
21,8	21,8	21,9	21,6	29,6		30,0	29,8	28,0	
+20 <sup>min</sup> 8	22,8	22,7	22,7	22,4	+70 <sup>min</sup> 18	30,8	30,5	30,7	29,0
23,7	23,5	23,5	23,1	31,3		31,7	31,5	29,4	
22,8	22,7	22,7	22,4	30,5		30,5	30,2	28,4	
+25 <sup>min</sup> 9	23,9	23,5	23,5	23,0	+75 <sup>min</sup> 19	<del>30,5</del>	31,5	31,6	29,4
24,6	24,5	24,4	23,6	32,0		32,3	32,2	30,1	
23,7	23,5	23,6	22,7	30,8		31,1	30,8	28,8	
+30 <sup>min</sup> 10	24,5	24,4	24,4	23,5	+85 <sup>min</sup> 20	32,7	32,2	32,0	30,5
25,4	25,4	25,4	24,5	33,5		33,8	33,5	31,2	
24,4	24,3	24,5	23,5	32,4		32,3	32,6	<del>30,8</del>	
29.1. 2025; 2x infra a 1 skany					+90 <sup>min</sup> 21	32,6	32,3	32,8	29,7
						33,1	33,4	33,3	<del>30,8</del>
						31,7	31,9	31,9	29,7

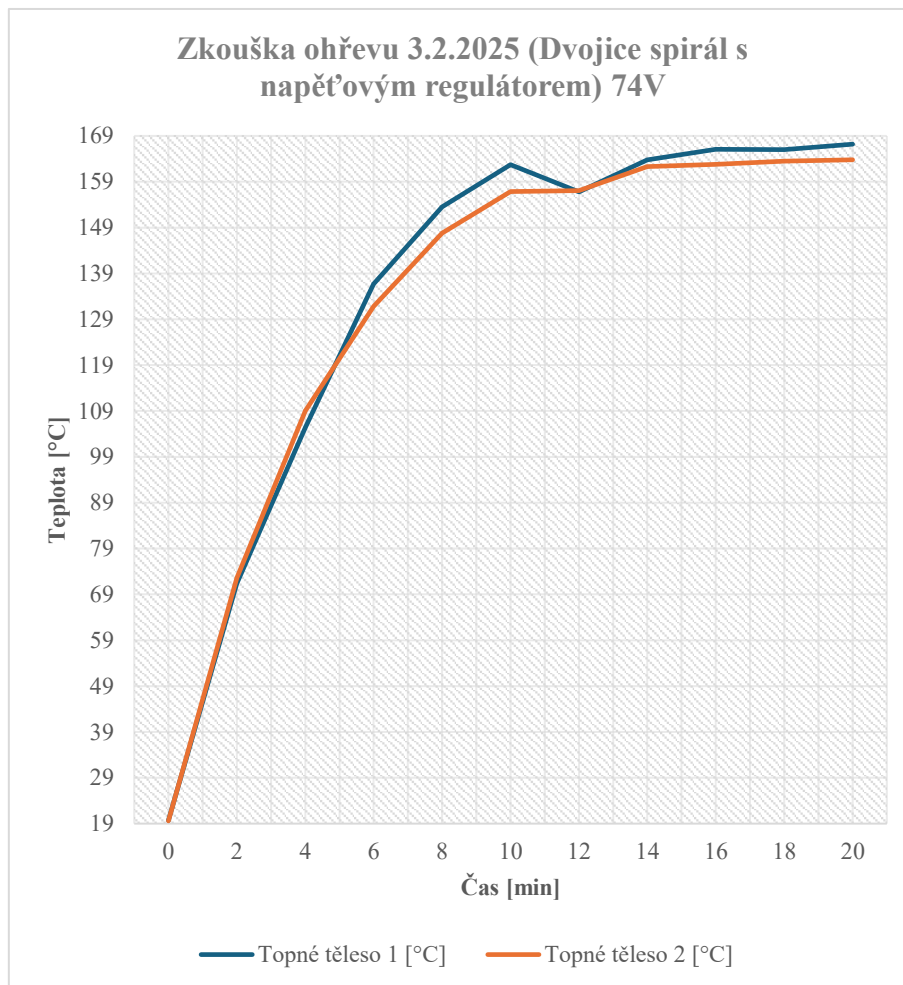
## Příloha 26. Zkouška ohřevu dvojice topných těles pomocí regulátoru napětí 1

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu dvojice topných těles pomocí regulátoru napětí 1
Datum zkoušky:	3.2.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Stopky Papírový zápisník Topná tělesa 1000 W (2 ks) Regulátor napětí (1 ks)	
3) Cíle zkoušky	
Cílem zkoušky bylo ověřit funkčnost regulátoru napětí na dvojici topných těles ložených mimo experimentální kolejnici. Cílem bylo pomocí regulátoru napětí napájet dvojici topných těles menším napětím, než je běžně dostupných 230 V, omezit tak maximální teplotu topných těles a také nárůst teploty topných těles.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"><li>1) Příprava dvojice topných těles na dřevěnou paletu.</li><li>2) Podložení dvojice topných těles kousky keramické dlažby.</li><li>3) Zapojení elektrického obvodu topných těles.</li><li>4) Zapojení regulátoru napětí do elektrického obvodu</li><li>5) Nastavení výkonu na potenciometru regulátoru napětí na hodnotu 74 V.</li><li>6) Zapojení soustavy ohřevu do elektrické sítě, zahájení ohřevu.</li><li>7) Dlouhodobý ohřev za průběžného měření teploty topných těles každé 2 minuty bezkontaktním laserovým teploměrem Fluke 574 a následného záznamu naměřených hodnot do papírového zápisníku.</li><li>8) Ukončení zkoušky ohřevu těles po stabilizaci teploty topných těles.</li></ol>	

### Příloha 26.1. Zdrojová data

Topné těleso 1 [°C]	Topné těleso 2 [°C]	Čas měření [mm]
19,7	19,6	0
71,4	72,6	2
105,4	109	4
136,7	131,8	6
153,5	147,8	8
162,7	156,9	10
156,8	157,1	12
163,8	162,3	14
166,1	162,8	16
166	163,5	18
167,2	163,8	20

## Příloha 26.2. Grafy



## Příloha 26.3. Závěr

Výsledkem zkoušky ohřevu dvojice topných těles s regulací v podobě regulátoru napětí je záznam plynulého a rovnoměrného ohřevu obou topných těles. Regulátor napětí byl nastaven na hodnotu 74 V místo standardních 230 V, které by do topných těles proudily bez regulace.

Ohřev topných těles byl pomalejší a maximální teplota se ustálila na hodnotě menší než 170 °C, což je výrazně méně než teplota topných těles bez jakékoliv regulace. Obě topná tělesa nabývala po celou dobu ohřevu podobných hodnot teploty.

Příloha 26.4. Deník zkoušky

Dvojice spirál regulátoru ~~70%~~ 50% 74 V, 3. 2. 2025

čas	měření	spirála 1	spirála 2
0,00	1	19,7	19,6
2,00	2	71,4	72,6
4,00	3	105,4	109,0
6,00	4	139,7	131,8
8,00	5	153,5	147,8
10,00	6	162,7	156,9
12,00	7	156,8	157,1
14,00	8	<del>162,6</del> 163,8	162,3
16,00	9	166,1	
18,00	10	166,0	162,8
20,00	11	167,2	163,5
			163,8

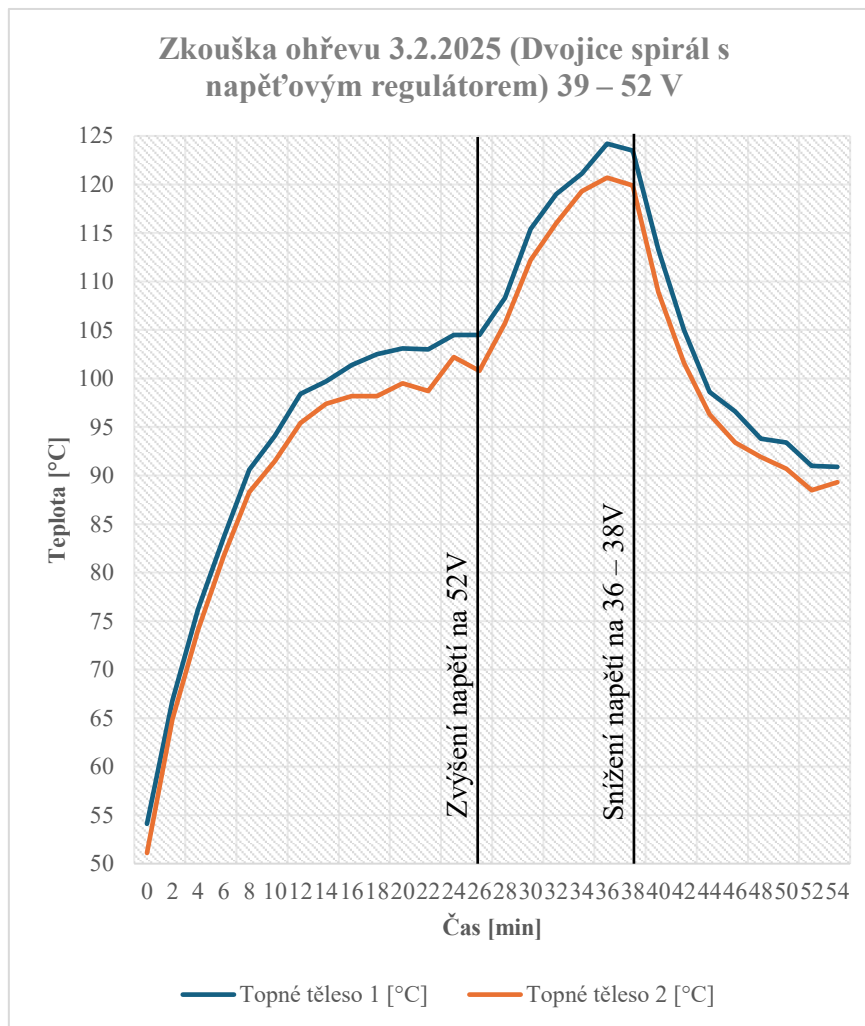
## Příloha 27. Zkouška ohřevu dvojice topných těles pomocí regulátoru napětí 2

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu dvojice topných těles pomocí regulátoru napětí 2
Datum zkoušky:	3.2.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Stopky Papírový zápisník Topná tělesa 1000 W (2 ks) Regulátor napětí (1 ks)	
3) Cíle zkoušky	
Cílem zkoušky ohřevu bylo demonstrovat variabilitu použití regulátoru napětí a pružné reakce topných těles na změny napětí.	
4) Postup zkoušky	
Příprava dvojice topných těles na dřevěnou paletu. Podložení dvojice topných těles kousky keramické dlažby. Zapojení elektrického obvodu topných těles. Zapojení regulátoru napětí do elektrického obvodu Nastavení výkonu na potenciometru regulátoru napětí na hodnotu 39 V. Zapojení soustavy ohřevu do elektrické sítě, zahájení ohřevu. Ohřev za průběžného měření teploty topných těles každé 2 minuty bezkontaktním laserovým teploměrem Fluke 574 a následného záznamu naměřených hodnot do papírového zápisníku. Po 26 minutách ohřevu zvýšení napětí potenciometrem regulátoru na hodnotu 52 V Po dalších 12 minutách ohřevu snížení napětí na potenciometru regulátoru na hodnotu 36–38 V Ukončení zkoušky ohřevu těles po stabilizaci teploty topných těles.	

## Příloha 27.1. Zdrojová data

	Topné těleso 1 [°C]	Topné těleso 2 [°C]	Čas měření [mm]
	54,1	51,1	0
	66,8	64,9	2
	76,2	74,1	4
	83,6	81,7	6
	90,6	88,3	8
	94,1	91,5	10
	98,4	95,4	12
	99,7	97,4	14
	101,4	98,2	16
	102,5	98,2	18
	103,1	99,5	20
	103	98,7	22
	104,5	102,2	24
zvýšení výkonu na 43–44 %; 52 V	104,5	100,8	26
	108,3	105,7	28
	115,4	112,2	30
	119	116	32
	121,1	119,3	34
	124,2	120,7	36
snížení výkonu na 39 %; 36–38 V	123,5	119,9	38
	113,3	108,9	40
	105	101,6	42
	98,6	96,3	44
	96,6	93,4	46
	93,8	91,9	48
	93,4	90,7	50
	91	88,5	52
	90,9	89,3	54

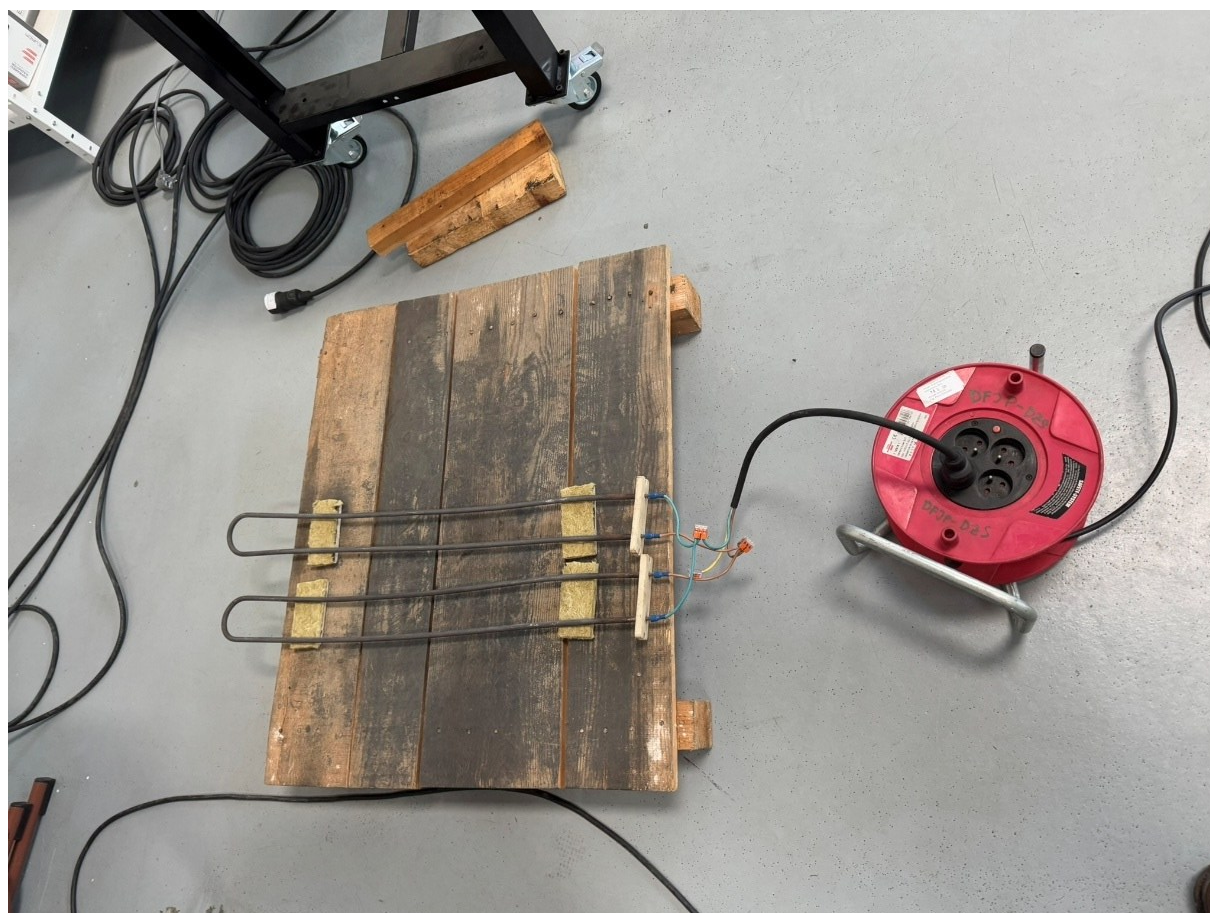
## Příloha 27.2. Grafy



## Příloha 27.3. Závěr

Při zkoušce ohřevu dvojice topných těles se podařilo prokázat vysokou variabilitu nastavení teploty topných těles pomocí regulátoru napětí v průběhu ohřevu. Při správně zvolené hodnotě napětí na regulátoru lze docílit téměř jakékoliv teploty topných těles a plynule ji měnit v průběhu zkoušek. Ohřev je rovnoměrný plynulý a variabilní, čehož u předchozích druhů regulace nebylo možné docílit.

## Příloha 27.4. Fotodokumentace





## Příloha 28. Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí
Datum zkoušky:	21.2.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Stopky Papírový zápisník Experimentální kolejnice Topná tělesa 1000 W (6 ks) Regulátor napětí (3 ks)	
3) Cíle zkoušky	
Hlavním cílem této zkoušky ohřevu bylo ověření funkčnosti soustavy šesti topných těles v kombinaci s regulací výkonu topných těles v podobě regulátorů napětí. Dalším cílem je dosáhnout rovnoměrného plynulého ohřevu Ek bez kolísání teplot.	
4) Postup zkoušky	
1) Příprava experimentální kolejnice. 2) Příprava a instalace všech dvojic topných těles pomocí elektricky izolovaného uchycení. 3) Zapojení elektrického obvodu topných těles. 4) Instalace regulátorů napětí a nastavení napětí na 62 V. 5) Příprava stopek. 6) Příprava bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574. 7) Realizace nulového odečtu teploty experimentální kolejnice; měření teploty před zahájením zkoušky v měřících profilech 2,4,6,8, a to na hlavě, stojině a patě kolejnice. 8) Zapojení ohřevné soustavy do elektrické sítě, zapnutí stopek, zahájení ohřevu 9) Průběžné měření teploty pomocí bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 a následný záznam naměřených hodnot do deníku zkoušky 10) Vypojení soustavy ohřevu z elektrické sítě, ukončení zkoušky ohřevu.	

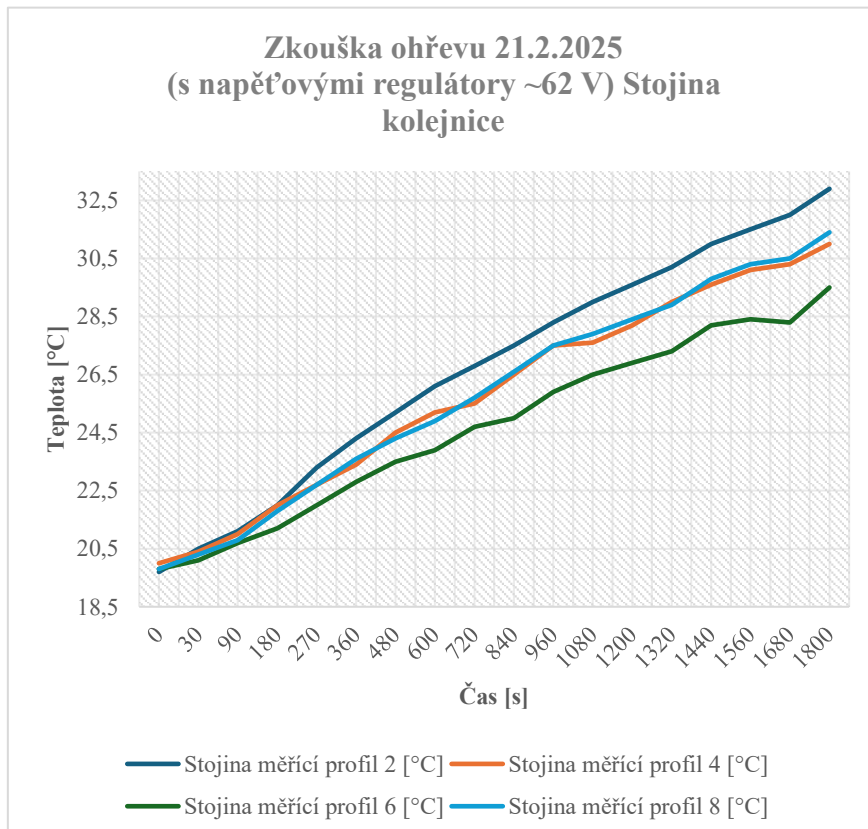
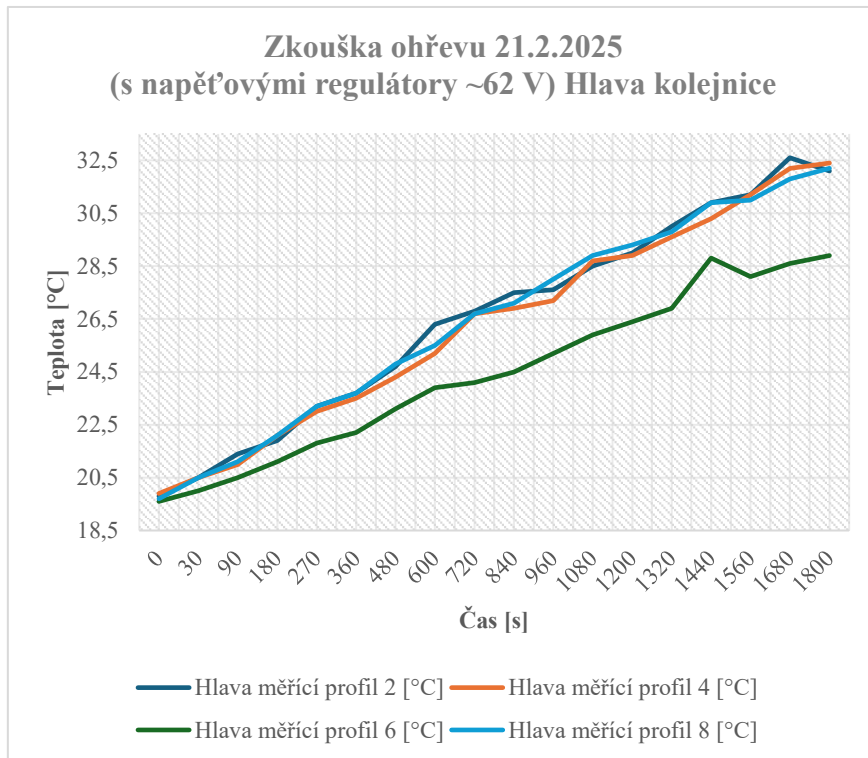
## Příloha 28.1. Zdrojová data

Hlava měřící profil 2 [°C]	Hlava měřící profil 4 [°C]	Hlava měřící profil 6 [°C]	Hlava měřící profil 8 [°C]	Čas měření [ss]
19,8	19,9	19,6	19,7	0
20,5	20,5	20	20,5	30
21,4	21	20,5	21,1	90
21,9	22,1	21,1	22,1	180
23,2	23	21,8	23,2	270
23,7	23,5	22,2	23,7	360
24,7	24,3	23,1	24,8	480
26,3	25,2	23,9	25,5	600
26,8	26,7	24,1	26,7	720
27,5	26,9	24,5	27,1	840
27,6	27,2	25,2	28	960
28,5	28,7	25,9	28,9	1080
29	28,9	26,4	29,3	1200
30	29,6	26,9	29,8	1320
30,9	30,3	28,8	30,9	1440
31,2	31,2	28,1	31	1560
32,6	32,2	28,6	31,8	1680
32,1	32,4	28,9	32,2	1800

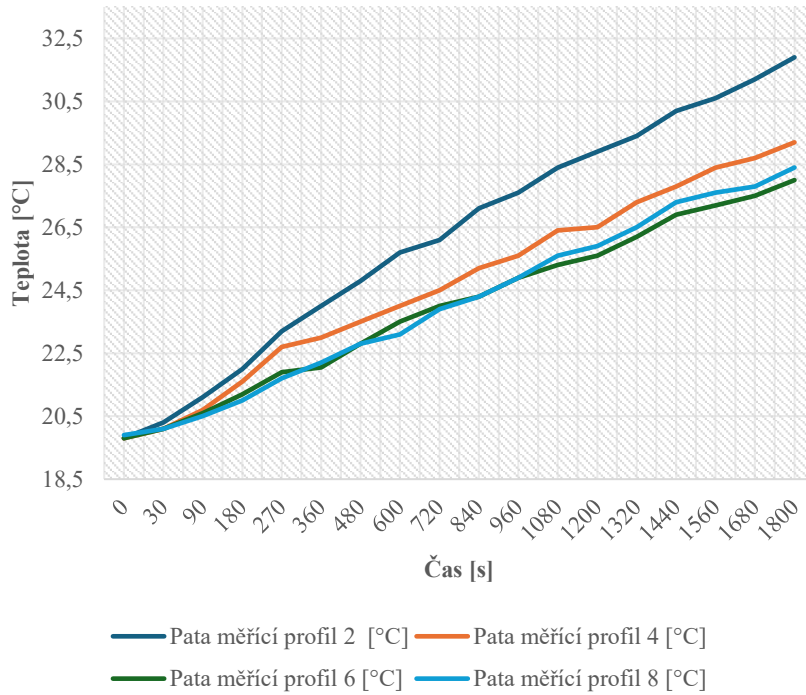
Stojina měřící profil 2 [°C]	Stojina měřící profil 4 [°C]	Stojina měřící profil 6 [°C]	Stojina měřící profil 8 [°C]	Čas měření [ss]
19,7	20	19,8	19,8	0
20,5	20,4	20,1	20,3	30
21,1	21	20,7	20,8	90
22	22	21,2	21,8	180
23,3	22,7	22	22,7	270
24,3	23,4	22,8	23,6	360
25,2	24,5	23,5	24,3	480
26,1	25,2	23,9	24,9	600
26,8	25,5	24,7	25,7	720
27,5	26,5	25	26,6	840
28,3	27,5	25,9	27,5	960
29	27,6	26,5	27,9	1080
29,6	28,2	26,9	28,4	1200
30,2	29	27,3	28,9	1320
31	29,6	28,2	29,8	1440
31,5	30,1	28,4	30,3	1560
32	30,3	28,3	30,5	1680
32,9	31	29,5	31,4	1800

Pata měřící profil 2 [°C]	Pata měřící profil 4 [°C]	Pata měřící profil 6 [°C]	Pata měřící profil 8 [°C]	Čas měření [ss]
19,8	19,8	19,8	19,9	0
20,3	20,1	20,1	20,1	30
21,1	20,7	20,6	20,5	90
22	21,6	21,2	21	180
23,2	22,7	21,9	21,7	270
24	23	22,05	22,2	360
24,8	23,5	22,8	22,8	480
25,7	24	23,5	23,1	600
26,1	24,5	24	23,9	720
27,1	25,2	24,3	24,3	840
27,6	25,6	24,9	24,9	960
28,4	26,4	25,3	25,6	1080
28,9	26,5	25,6	25,9	1200
29,4	27,3	26,2	26,5	1320
30,2	27,8	26,9	27,3	1440
30,6	28,4	27,2	27,6	1560
31,2	28,7	27,5	27,8	1680
31,9	29,2	28	28,4	1800

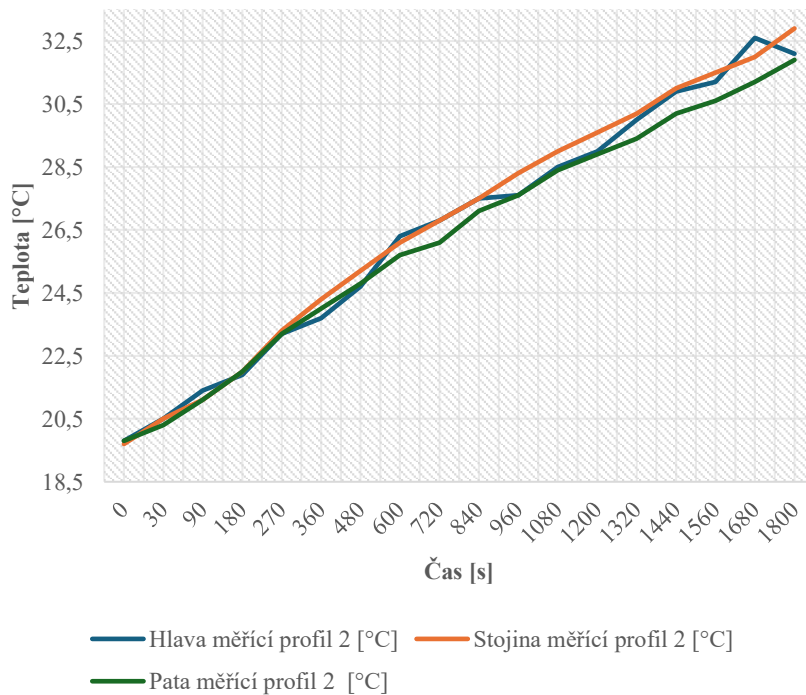
## Příloha 28.2. Grafy



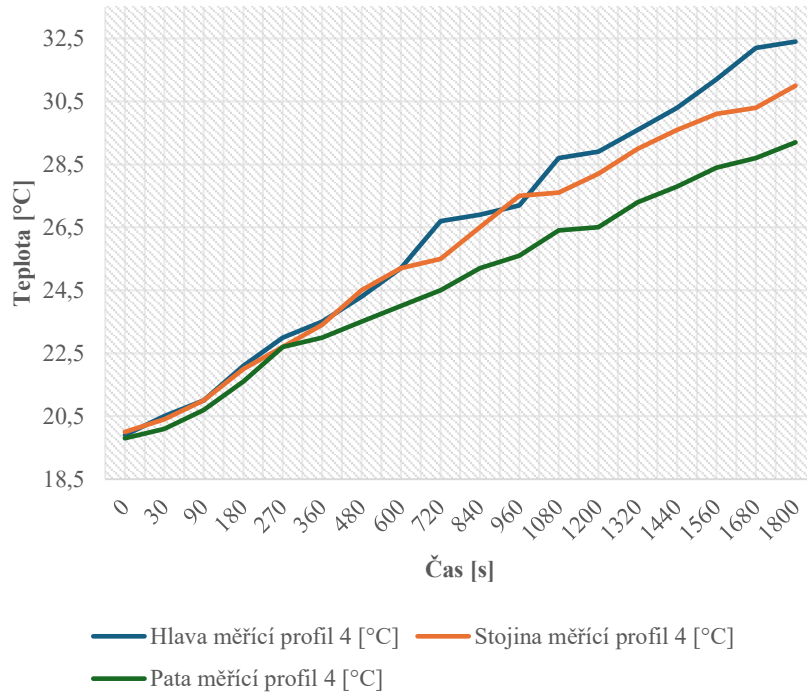
**Zkouška ohřevu 21.2.2025  
(s napět'ovými regulátory ~62 V) Pata kolejnice**



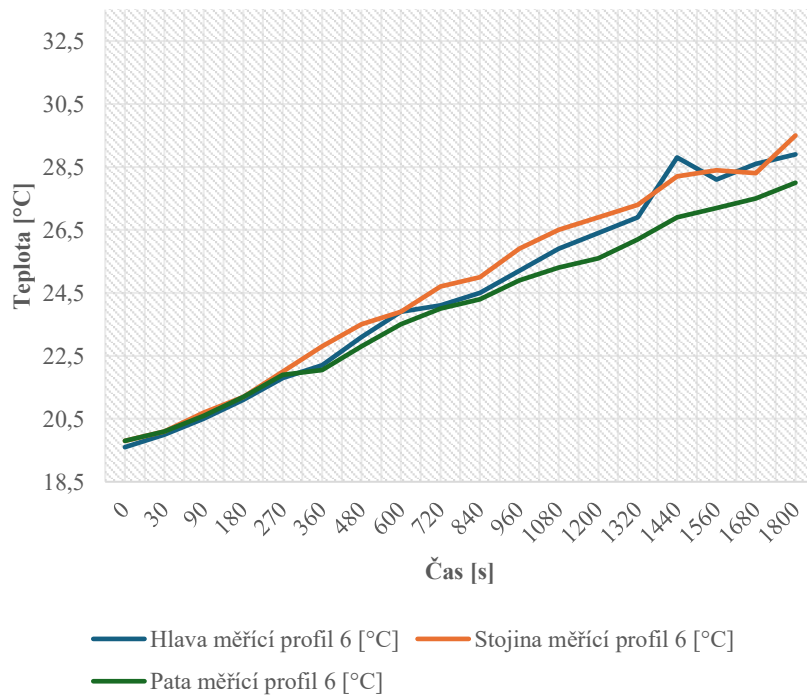
**Zkouška ohřevu 21.2.2025  
(s napět'ovými regulátory ~62 V) Měřící profil 2**

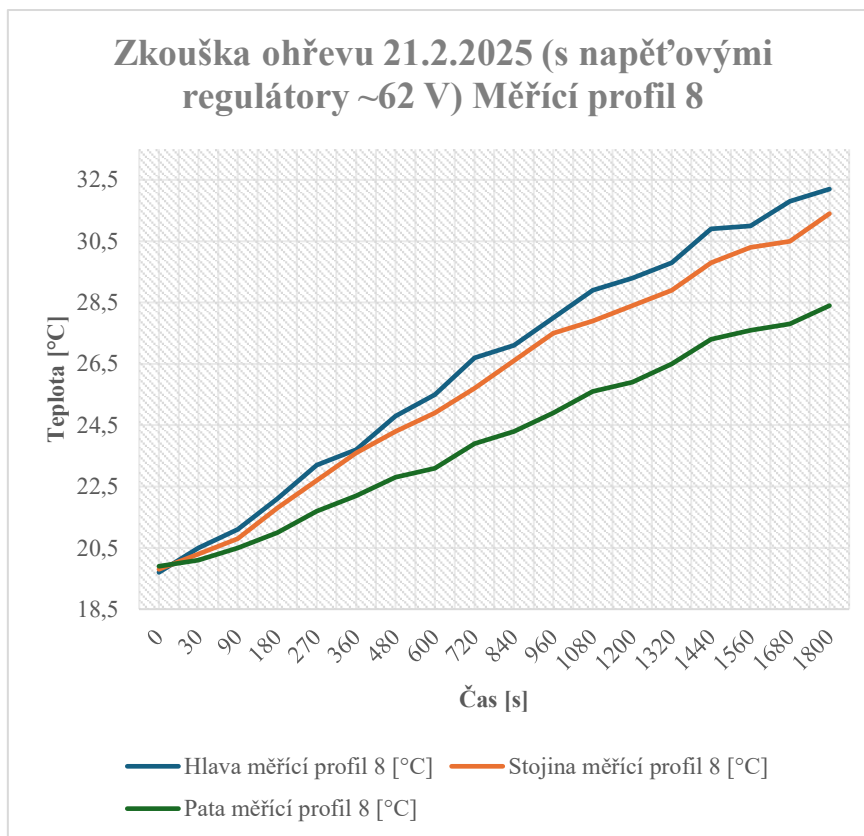


**Zkouška ohřevu 21.2.2025**  
**(s napětovými regulátory ~62V) Měřící profil 4**



**Zkouška ohřevu 21.2.2025**  
**(s napětovými regulátory ~62 V) Měřící profil 6**





### Příloha 28.3. Závěr

Během této zkoušky ohřevu Ek byla potvrzena funkčnost regulace výkonu topných těles pomocí regulátorů napětí. Ohřev byl plynulý bez kolísání teploty. Jedná se o lepší způsob regulace, než byly digitální termostaty v předchozích zkouškách.

Z naměřených dat jsou patrné nerovnoměrnosti v ohřevu v některých měřicích profilech Ek. Tyto nerovnoměrnosti nejsou způsobené regulací, nýbrž nedokonalým umístěním topných těles v elektricky izolovaném uchycení. Například lze pozorovat nižší naměřené teploty na patě Ek, bude tedy zapotřebí v těchto místech přesunout topné těleso blíže k patě, v rámci toho, co dovolí uchycení.

Pro další zkoušky je vhodné vylepšit způsob záznamu teploty Ek a upravit polohy některých topných těles v rámci elektricky izolovaného uchycení.

**Příloha 28.4. Deník zkoušky**

3x napětová regulace

~ 62 V

21.2.2025

①

Č. odečtu	Č. řezu	2	4	6	8	Čas měření	Poznámky
	Místo měření						
1	Hlava	19,8	19,9	19,6	19,7	0:0	
	Stojina	19,7	20,0	19,8	19,8	0:0	
	Pata	19,8	19,8	19,8	19,9	0:0	
2	Hlava	20,5	20,5	20,0	20,5	<del>0:0</del>	
	Stojina	20,5	20,4	20,7	20,3	0:30	
	Pata	20,3	20,7	20,7	20,7		
3	Hlava	<del>20,7</del> 21,4	21,0	20,5	21,7		
	Stojina	21,7	21,0	20,7	20,8	7:30	
	Pata	21,7	20,7	20,6	20,5		
4	Hlava	21,5	21,7	21,7	21,7		
	Stojina	22,0	22,0	21,2	21,8	5:00	
	Pata	22,0	21,6	21,2	21,0		
5	Hlava	23,2	23,0	21,8	23,2		
	Stojina	23,3	22,7	22,0	22,7	4:30	
	Pata	23,2	22,2	21,5	21,7		
6	Hlava	23,7	23,5	22,2	23,7		
	Stojina	24,3	23,4	22,8	23,6	6:00	
	Pata	24,0	23,0	22,5	22,2		
7	Hlava	24,7	24,3	23,7	24,8		
	Stojina	25,2	24,5	23,5	24,3	8:00	
	Pata	24,8	23,5	22,8	23,8		
8	Hlava	26,3	25,2	23,5	25,5		
	Stojina	26,7	25,2	23,5	24,5	10:00	
	Pata	25,7	24,0	23,5	23,7		
9	Hlava	26,88	26,7	24,7	26,7		
	Stojina	26,8	25,5	24,7	25,7	12:00	
	Pata	26,7	24,5	24,0	23,5		
10	Hlava	27,5	26,5	24,5	27,7		
	Stojina	27,5	26,5	25,0	26,6	14:00	
	Pata	27,7	25,2	24,3	24,3		
11	Hlava	27,6	27,2	25,2	28,0		
	Stojina	28,3	27,5	25,5	27,5	16:00	
	Pata	27,6	25,6	24,5	24,9		
12	Hlava	28,5	28,7	25,5	28,5		
	Stojina	29,0	27,6	26,5	<del>27,5</del> 27,5	18:00	
	Pata	28,4	26,4	25,3	25,6		
13	Hlava	29,0	28,3	26,4	28,3		
	Stojina	29,6	28,2	26,3	28,4	20:00	
	Pata	28,5	26,5	25,6	25,5		
14	Hlava	30,0	29,6	26,5	29,8		
	Stojina	30,2	29,0	27,3	28,5	22:00	
	Pata	29,4	27,3	26,2	26,5		
15	Hlava	30,5	30,3	27,8	30,5		
	Stojina	31,0	29,6	28,2	29,8	24:00	
	Pata	30,2	27,8	26,3	27,3		

## Příloha 29. Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 1

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 1
Datum zkoušky:	24.2.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Soustava teplotních sond DS18B20 Experimentální kolejnice Topná tělesa 1000 W (6 ks) Regulátory napětí (3 ks)	
3) Cíle zkoušky	
Cílem této zkoušky bylo ověření nového způsobu záznamu dat o teplotě experimentální kolejnice, a to pomocí soustavy digitálních teplotních sond DS18B20. Dalším cílem je provedení delšího ohřevu s regulací napětí nastavenou na nižší hodnotu, a to 29 V s předpokladem zvýšení napětí v průběhu zkoušky.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Příprava experimentální kolejnice.</li> <li>2) Příprava a instalace všech dvojic topných těles pomocí elektricky izolovaného uchycení.</li> <li>3) Zapojení elektrického obvodu topných těles.</li> <li>4) Instalace soustavy teplotních sond DS18B20</li> <li>5) Instalace regulátorů napětí a nastavení napětí na 29 V.</li> <li>6) Příprava bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 pro kontrolní měření.</li> <li>7) Zapojení ohřevné soustavy do elektrické sítě, zapnutí kontinuálního záznamu teploty v softwaru soustavy teplotních sond, zahájení ohřevu</li> <li>8) Vypojení soustavy ohřevu z elektrické sítě, zastavení záznamu teploty teplotních sond, ukončení zkoušky ohřevu.</li> </ol>	

## Příloha 29.1. Zdrojová data

Z důvodu agregace velkého množství naměřených dat z soustavy teplotních sond jsou zde prezentována a vyhodnocována data vždy s krokem po deseti minutách.

ID	Název	Poloha
28D4E7D509000083	temp0	Hlava kolejnice shora uprostřed
2809CAD509000019	temp1	Pata kolejnice vlevo
282D6CD409000053	temp2	Pata kolejnice uprostřed
28FD82D4090000EF	temp3	Hlava kolejnice shora vpravo
2857A6350A0000B9	temp4	Pata kolejnice vpravo
288F63D509000081	temp5	Hlava kolejnice z boku vlevo
289FF2D5090000A0	temp6	Hlava kolejnice shora vlevo

Čas měření [s]	Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	temp0 [°C]	temp1 [°C]	temp2opt [°C]	temp3 [°C]	temp4opt [°C]	temp5 [°C]	temp6 [°C]
0,7	24.02.2025 14:28	23,50	23,50	0,50	23,19	0,50	23,50	23,50
92,3	24.02.2025 14:30:02	23,5	23,5	23,5	23,25	23,5	23,5	23,5
692,7	24.02.2025 14:40:02	23,5	24	23,5	24	24	24	24,5
1291,5	24.02.2025 14:50:01	24	25	24	24,94	25	25	25,5
1892,3	24.02.2025 15:00:02	25	25,5	24,5	25,81	25,5	26	26,5
2490,4	24.02.2025 15:10:00	25,5	26,5	25	26,62	26	27	27,5
3091,1	24.02.2025 15:20:01	26	27	25,5	27,44	27	28	28
3690,8	24.02.2025 15:30:00	26,5	28	26	28,06	27,5	28,5	29
4292,7	24.02.2025 15:40:02	27	28,5	26,5	28,69	28	29	29,5
4892,4	24.02.2025 15:50:02	28	29	27	29,19	28,5	30	30
5492,6	24.02.2025 16:00:02	28,5	29,5	27,5	29,69	29	30,5	30,5
6090,3	24.02.2025 16:10:00	29	30	28	30,12	29,5	31	31
6690,1	24.02.2025 16:20:00	29	30	28,5	30,37	29,5	31	31,5
7292	24.02.2025 16:30:01	29,5	30,5	29	30,69	30	31,5	31,5
7890,7	24.02.2025 16:40:00	30	31	29	31,06	30	32	32
8492,4	24.02.2025 16:50:02	30,5	32	29,5	32,13	31	33	33,5
9092,1	24.02.2025 17:00:01	31	33	30	33,19	32	34	34,5

## Příloha 29.2. Výpočty a zpracování dat

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Průměrná teplota kolejnice [°C]	Odchylka temp0 [°C]	Odchylka temp1 [°C]	Čas měření [HH:MM: SS]
24.02.2025 14:28	23,46	0,04	0,04	0:00:00
24.02.2025 14:30	23,46	0,04	0,04	0:01:32
24.02.2025 14:40	23,93	- 0,43	0,07	0:11:32
24.02.2025 14:50	24,78	- 0,78	0,22	0:21:31
24.02.2025 15:00	25,54	- 0,54	- 0,04	0:31:32
24.02.2025 15:10	26,30	- 0,80	0,20	0:41:30
24.02.2025 15:20	26,99	- 0,99	0,01	0:51:31
24.02.2025 15:30	27,65	- 1,15	0,35	1:01:30
24.02.2025 15:40	28,17	- 1,17	0,33	1:11:32
24.02.2025 15:50	28,81	- 0,81	0,19	1:21:32
24.02.2025 16:00	29,31	- 0,81	0,19	1:31:32
24.02.2025 16:10	29,80	- 0,80	0,20	1:41:30
24.02.2025 16:20	29,98	- 0,98	0,02	1:51:30
24.02.2025 16:30	30,38	- 0,88	0,12	2:01:31
24.02.2025 16:40	30,72	- 0,72	0,28	2:11:30
24.02.2025 16:50	31,66	- 1,16	0,34	2:21:32
24.02.2025 17:00	32,53	- 1,53	0,47	2:31:31

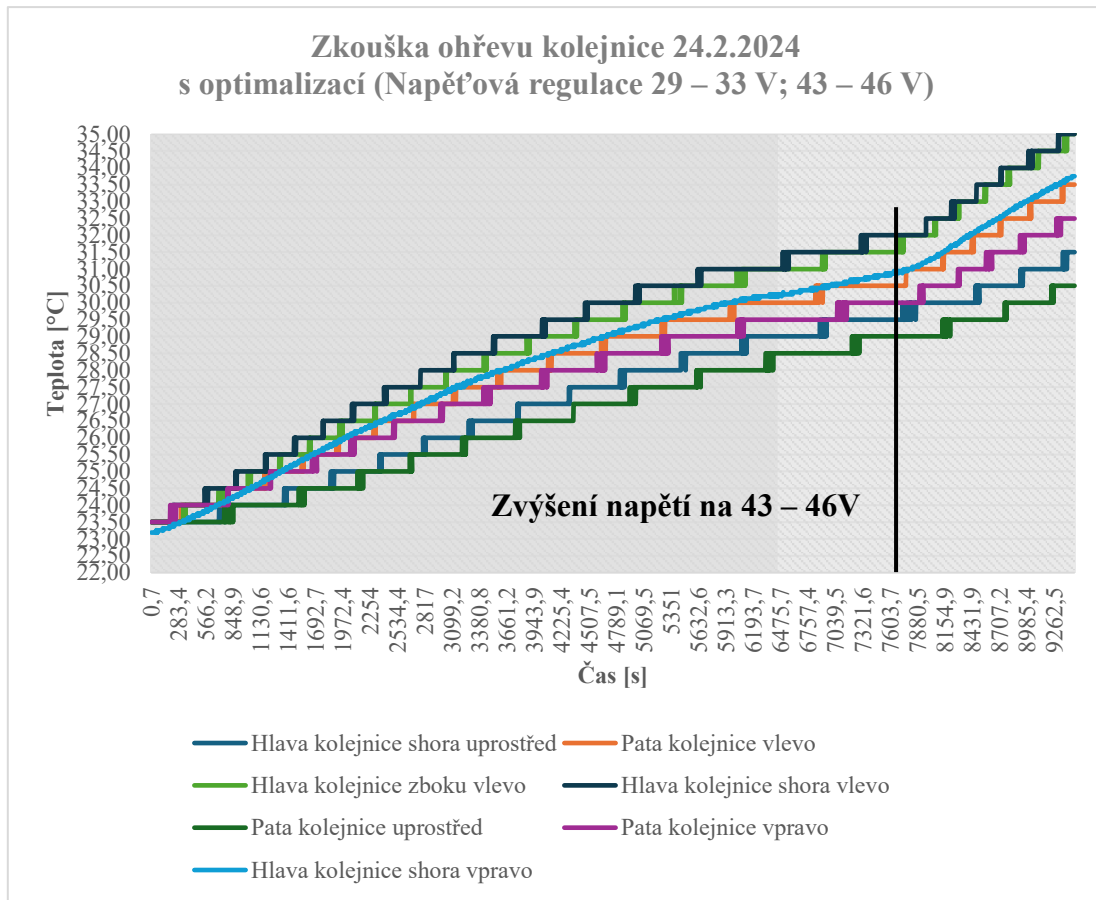
Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Odchylka temp2opt [°C]	Odchylka temp3 [°C]	Odchylka temp4opt [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
24.02.2025 14:28	0,04	- 0,27	0,04	0:00:00
24.02.2025 14:30	0,04	- 0,21	0,04	0:01:32
24.02.2025 14:40	- 0,43	0,07	0,07	0:11:32
24.02.2025 14:50	- 0,78	0,16	0,22	0:21:31
24.02.2025 15:00	- 1,04	0,27	- 0,04	0:31:32
24.02.2025 15:10	- 1,30	0,32	- 0,30	0:41:30
24.02.2025 15:20	- 1,49	0,45	0,01	0:51:31
24.02.2025 15:30	- 1,65	0,41	- 0,15	1:01:30
24.02.2025 15:40	- 1,67	0,52	- 0,17	1:11:32
24.02.2025 15:50	- 1,81	0,38	- 0,31	1:21:32
24.02.2025 16:00	- 1,81	0,38	- 0,31	1:31:32
24.02.2025 16:10	- 1,80	0,32	- 0,30	1:41:30
24.02.2025 16:20	- 1,48	0,39	- 0,48	1:51:30
24.02.2025 16:30	- 1,38	0,31	- 0,38	2:01:31
24.02.2025 16:40	- 1,72	0,34	- 0,72	2:11:30
24.02.2025 16:50	- 2,16	0,47	- 0,66	2:21:32
24.02.2025 17:00	- 2,53	0,66	- 0,53	2:31:31

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Odchylk a temp5 [°C]	Odchylk a temp6 [°C]	Maximální odchylka [°C]	Minimální odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM:SS ]
24.02.2025 14:28	0,04	0,04	0,04	- 0,27	0:00:00
24.02.2025 14:30	0,04	0,04	0,04	- 0,21	0:01:32
24.02.2025 14:40	0,07	0,57	0,57	- 0,43	0:11:32
24.02.2025 14:50	0,22	0,72	0,72	- 0,78	0:21:31
24.02.2025 15:00	0,46	0,96	0,96	- 1,04	0:31:32
24.02.2025 15:10	0,70	1,20	1,20	- 1,30	0:41:30
24.02.2025 15:20	1,01	1,01	1,01	- 1,49	0:51:31
24.02.2025 15:30	0,85	1,35	1,35	- 1,65	1:01:30
24.02.2025 15:40	0,83	1,33	1,33	- 1,67	1:11:32
24.02.2025 15:50	1,19	1,19	1,19	- 1,81	1:21:32
24.02.2025 16:00	1,19	1,19	1,19	- 1,81	1:31:32
24.02.2025 16:10	1,20	1,20	1,20	- 1,80	1:41:30
24.02.2025 16:20	1,02	1,52	1,52	- 1,48	1:51:30
24.02.2025 16:30	1,12	1,12	1,12	- 1,38	2:01:31
24.02.2025 16:40	1,28	1,28	1,28	- 1,72	2:11:30
24.02.2025 16:50	1,34	1,84	1,84	- 2,16	2:21:32
24.02.2025 17:00	1,47	1,97	1,97	- 2,53	2:31:31

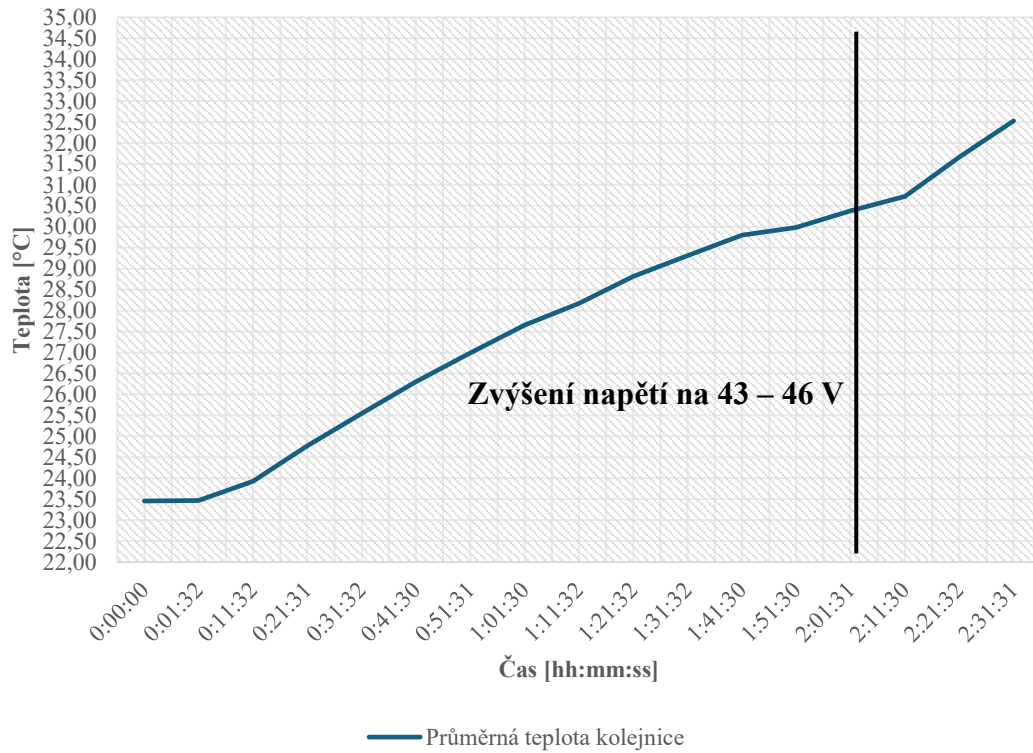
Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Rozpětí odchylek [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Variační koeficient [%]	Mediánová odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
24.02.2025 14:28	0,31	0,117	0,50	0,00	0:00:00
24.02.2025 14:30	0,25	0,094	0,40	0,00	0:01:32
24.02.2025 14:40	1,00	0,345	1,44	0,00	0:11:32
24.02.2025 14:50	1,50	0,564	2,27	0,06	0:21:31
24.02.2025 15:00	2,00	0,656	2,57	0,50	0:31:32
24.02.2025 15:10	2,50	0,865	3,29	0,50	0:41:30
24.02.2025 15:20	2,50	0,952	3,53	1,00	0:51:31
24.02.2025 15:30	3,00	1,073	3,88	0,50	1:01:30
24.02.2025 15:40	3,00	1,082	3,84	0,50	1:11:32
24.02.2025 15:50	3,00	1,083	3,76	1,00	1:21:32
24.02.2025 16:00	3,00	1,083	3,70	1,00	1:31:32
24.02.2025 16:10	3,00	1,080	3,62	1,00	1:41:30
24.02.2025 16:20	3,00	1,071	3,57	1,00	1:51:30
24.02.2025 16:30	2,50	0,952	3,13	1,00	2:01:31
24.02.2025 16:40	3,00	1,115	3,63	1,00	2:11:30
24.02.2025 16:50	4,00	1,412	4,46	1,00	2:21:32
24.02.2025 17:00	4,50	1,619	4,98	1,00	2:31:31

Průměrné rozpětí odchylek [°C]:	2,474
Průměrná směrodatná odchylka [°C]:	0,892
Průměrný variační koeficient [%]:	3,093
Median medianových odchylek [°C]:	1,000

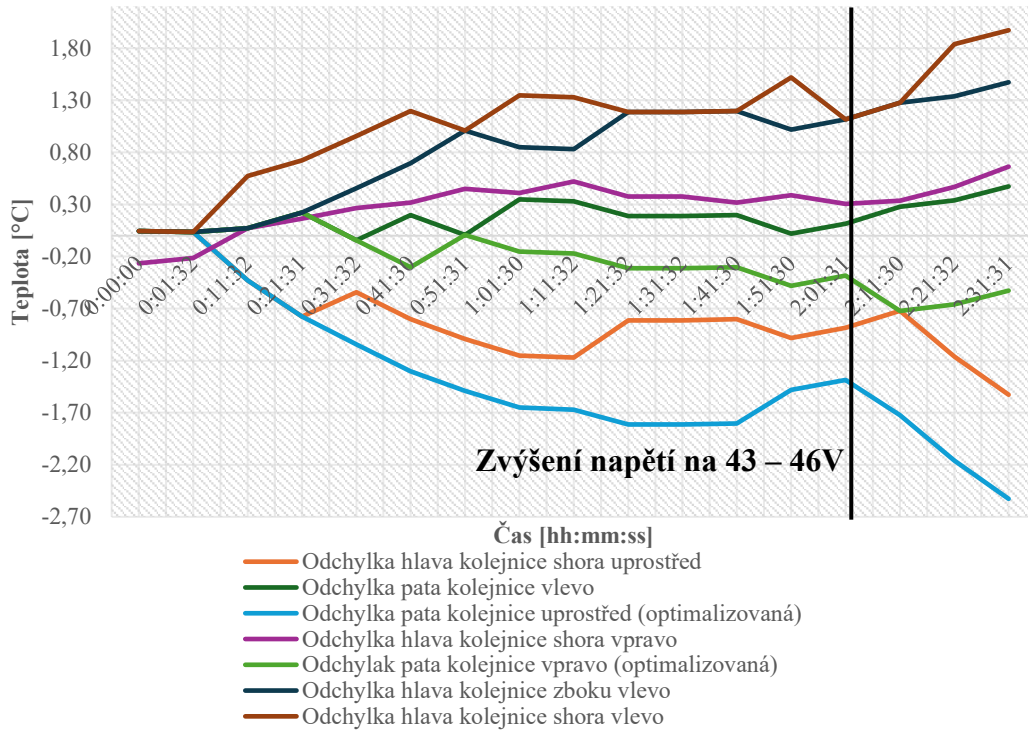
## Příloha 29.3. Grafy



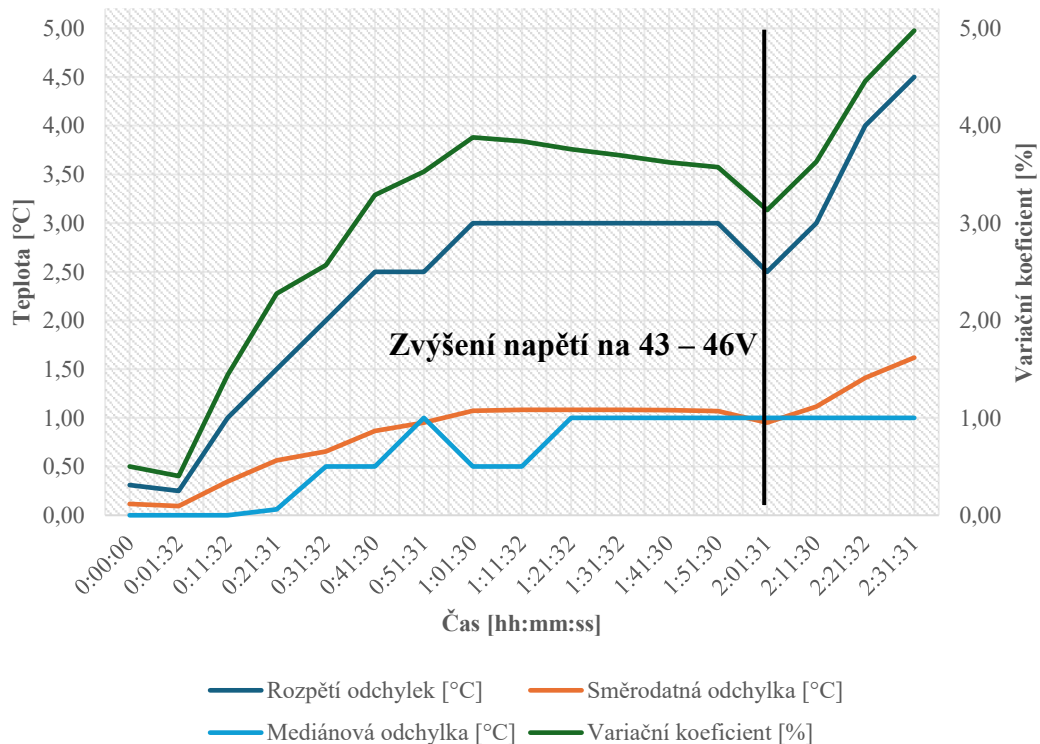
### Zkouška ohřevu kolejnice 24.2.2024 (Napět'ová regulace 29 – 33V; 43 – 46 V)



### Zkouška ohřevu kolejnice 24.2.2024 (Napět'ová regulace 29 – 33 V; 43 – 46 V)



### Zkouška ohřevu kolejnice 24.2.2024 (Napět'ová regulace 29 – 33 V; 43 – 46 V)



## **Příloha 29. 4. Závěr**

Nový systém záznamu teploty pomocí soustavy teplotních sond DS18B20 v kombinaci s příslušným softwarem s sebou přinesl jednodušší řešení v podobě kontinuálního záznamu teploty uvnitř materiálu experimentální kolejnice. Tohle řešení s sebou také přineslo nový způsob vyhodnocení výsledků. Kromě prosté prezentace naměřených hodnot v různých místech kolejnice byla zhotovena také statistická analýza v podobě odchylek od průměrné hodnoty teploty na různých místech kolejnice a následné zpracování těchto hodnot do podoby rozpětí odchylek, variačního koeficientu, a poté byly využity přístupy, které jsou méně náchylné na výskyt extrémních hodnot, jako je směrodatná odchylka a mediánová odchylka. Díky této analýze lze efektivně srovnávat výsledky jednotlivých zkoušek z pohledu rovnoměrnosti ohřevu na jednotlivých měřených místech kolejnice.

Při této první zkoušce ohřevu se záznamem teploty pomocí teplotních sond došlo k chybě v nastavení citlivosti teplotních sond DS18B20. Tato chyba je patrná především z grafu obsahující kompletní soubor dat z měření. Jediná teplotní sonda na místě s názvem „Hlava kolejnice shora vpravo“ totiž měla nastavenou citlivost teplotního záznamu na setinu °C. Ostatní sondy měly nastavenou citlivost na 0,5 °C.

Kvůli této chybě měla dvojice teplotních sond s názvy „Pata kolejnice uprostřed“ a „Pata kolejnice vpravo“ rozdílnou počáteční teplotu, a to o celých 0,5 °C. Bylo tedy vhodné tyto počáteční hodnoty sjednotit s ostatními sondami, aby více odpovídaly o rovnoměrnosti ohřevu. U těchto dvou teplotních sond byl celý soubor teplotních dat posunut o 0,5 °C tak, aby jejich počáteční hodnoty odpovídaly počátečním hodnotám ostatních teplotních sond. Vznikly tak „optimalizované“ soubory dat, které jsou zde prezentovány.

Pro další zkoušky ohřevu je nutné upravit nastavení digitálních teplotních sond a získat tak relevantnější data.

## Příloha 29. 5. Fotodokumentace



## Příloha 30. Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 2

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 2
Datum zkoušky:	25.2.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Soustava teplotních sond DS18B20 Experimentální kolejnice Topná tělesa 1000 W (6 ks) Regulátory napětí (3 ks)	
3) Cíle zkoušky	
Cílem této zkoušky ohřevu bylo upravit citlivost snímání teplotních sond DS18B20 tak, aby byla sjednocená na setiny °C. Dalším cílem bylo využít poznatků z předchozí zkoušky ohřevu a upravit polohu topných těles tak, aby se vyrovnaly rozdíly v ohřevu na jednotlivých místech experimentální kolejnice.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Příprava experimentální kolejnice.</li> <li>2) Příprava a instalace všech dvojic topných těles pomocí elektricky izolovaného uchycení.</li> <li>3) Úprava polohy topných těles oproti předchozí zkoušce (boční tělesa maximálně dolů; horní tělesa zvýšená o 1 cm).</li> <li>4) Zapojení elektrického obvodu topných těles.</li> <li>5) Instalace soustavy teplotních sond DS18B20</li> <li>6) Sjednocení citlivosti teplotních sond skrze Arduino IDE</li> <li>7) Instalace regulátorů napětí a nastavení napětí na 29 V.</li> <li>8) Příprava bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 pro kontrolní měření.</li> <li>9) Zapojení ohřevné soustavy do elektrické sítě, zapnutí kontinuálního záznamu teploty v softwaru soustavy teplotních sond, zahájení ohřevu</li> <li>10) Vypojení soustavy ohřevu z elektrické sítě, zastavení záznamu teploty teplotních sond, ukončení zkoušky ohřevu.</li> </ol>	

## Příloha 30.1. Zdrojová data

Z důvodu agregace velkého množství naměřených dat ze soustavy teplotních sond jsou zde prezentována a vyhodnocována data vždy s krokem po deseti minutách.

ID	Název	Poloha
28D4E7D509000083	temp0	Hlava kolejnice shora uprostřed
2809CAD509000019	temp1	Pata kolejnice vlevo
282D6CD409000053	temp2	Pata kolejnice uprostřed
28FD82D4090000EF	temp3	Hlava kolejnice shora vpravo
2857A6350A0000B9	temp4	Pata kolejnice vpravo
288F63D509000081	temp5	Hlava kolejnice z boku vlevo
289FF2D5090000A0	temp6	Hlava kolejnice shora vlevo

Čas měření [s]	Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	temp0 [°C]	temp1 [°C]	temp2 [°C]	temp3 [°C]	temp4 [°C]	temp5 [°C]	temp6 [°C]
0,7	25.02.2025 10:42	23	22,94	22,75	22,94	22,75	22,94	22,94
449,1	25.02.2025 10:50	23,12	23,25	22,87	23,37	23,06	23,31	23,37
1049,1	25.02.2025 11:00	23,5	24,31	23,25	24,81	24,06	24,5	24,62
1647,5	25.02.2025 11:10	24,19	25,44	23,87	26	25,06	25,69	25,87
2248,1	25.02.2025 11:20	25	26,5	24,56	27,06	26,06	26,75	27,06
2849	25.02.2025 11:30	25,75	27,44	25,31	28	26,87	27,75	28
3448,2	25.02.2025 11:40	26,56	28,31	26	28,81	27,69	28,62	29
4048,2	25.02.2025 11:50	27,25	29,06	26,69	29,5	28,31	29,5	29,81
4648,3	25.02.2025 12:00	27,94	29,75	27,31	30,12	28,87	30,25	30,56
5249	25.02.2025 12:10	28,56	30,31	27,87	30,69	29,44	30,87	31,19
5847,5	25.02.2025 12:20	29,12	30,87	28,37	31,06	29,87	31,5	31,75
6448,2	25.02.2025 12:30	29,62	31,31	28,87	31,37	30,31	31,94	32,13
7048,4	25.02.2025 12:40	30,06	31,81	29,31	31,81	30,69	32,44	32,56
7647,6	25.02.2025 12:50	30,44	32,19	29,69	32,13	31,06	32,88	33
8249,5	25.02.2025 13:00	30,81	32,56	30	32,44	31,37	33,25	33,38

## Příloha 30.2. Výpočty a zpracování dat

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Průměrná teplota kolejnice [°C]	Odchylka temp0 [°C]	Odchylka temp1 [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
25.02.2025 10:42	22,89	0,11	0,05	0:00:00
25.02.2025 10:50	23,19	- 0,07	0,06	0:07:28
25.02.2025 11:00	24,15	- 0,65	0,16	0:17:28
25.02.2025 11:10	25,16	- 0,97	0,28	0:27:27
25.02.2025 11:20	26,14	- 1,14	0,36	0:37:27
25.02.2025 11:30	27,02	- 1,27	0,42	0:47:28
25.02.2025 11:40	27,86	- 1,30	0,45	0:57:27
25.02.2025 11:50	28,59	- 1,34	0,47	1:07:27
25.02.2025 12:00	29,26	- 1,32	0,49	1:17:27
25.02.2025 12:10	29,85	- 1,29	0,46	1:27:28
25.02.2025 12:20	30,36	- 1,24	0,51	1:37:27
25.02.2025 12:30	30,79	- 1,17	0,52	1:47:27
25.02.2025 12:40	31,24	- 1,18	0,57	1:57:27
25.02.2025 12:50	31,63	- 1,19	0,56	2:07:27
25.02.2025 13:00	31,97	- 1,16	0,59	2:17:29

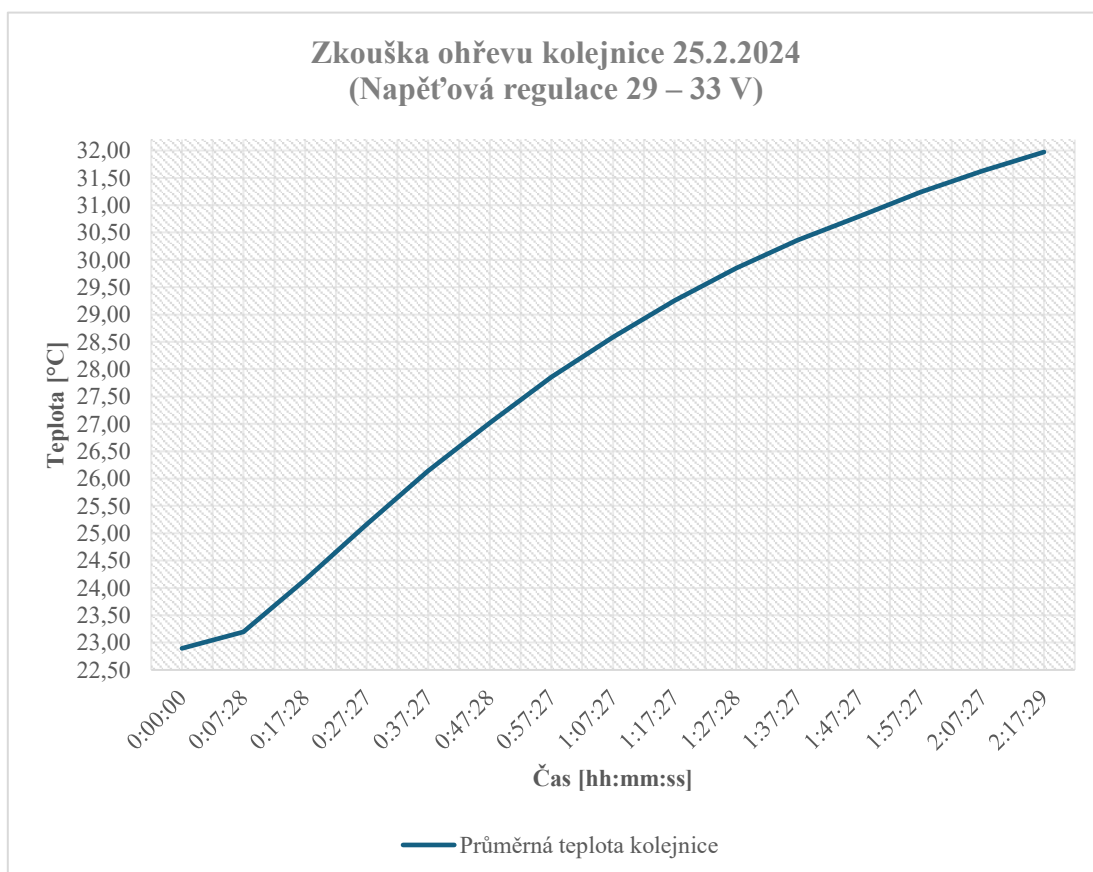
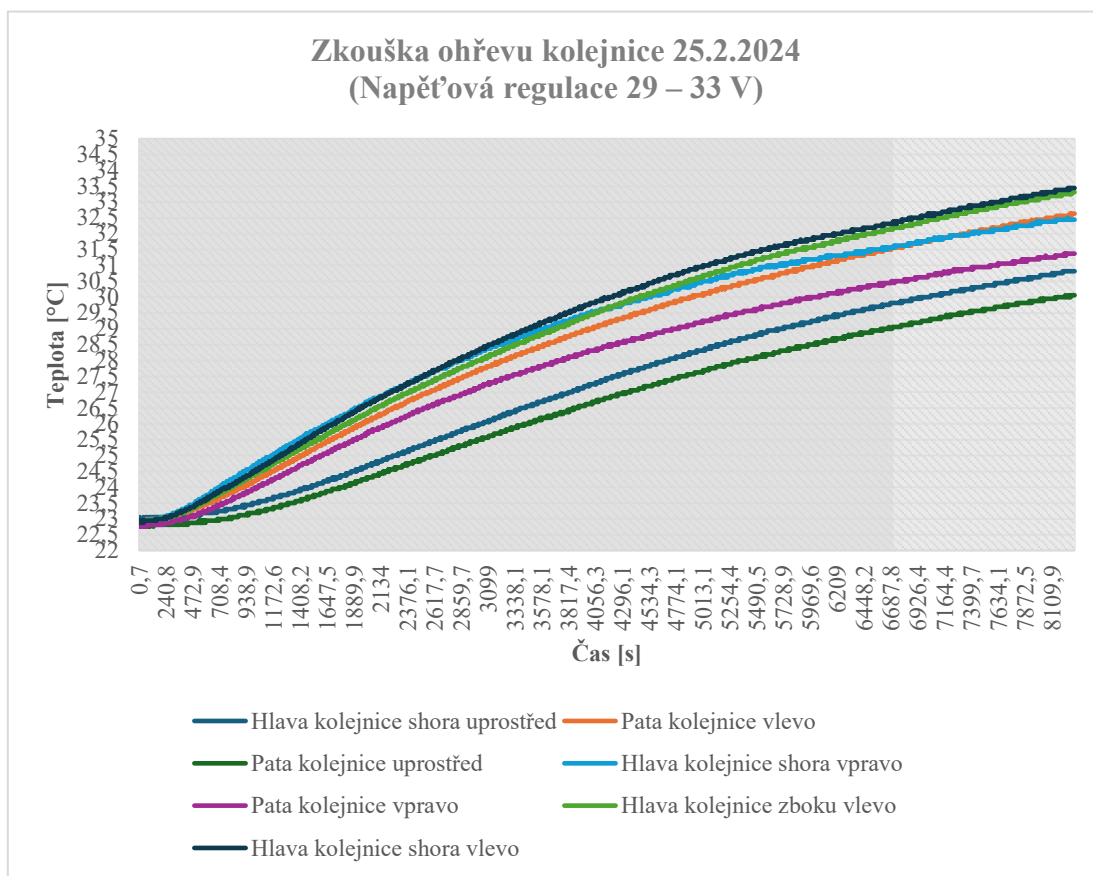
Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM: SS]	Odchylka temp2 [°C]	Odchylka temp3 [°C]	Odchylka temp4 [°C]	Čas měření [HH:MM: SS]
25.02.2025 10:42	- 0,14	0,05	- 0,14	0:00:00
25.02.2025 10:50	- 0,32	0,18	- 0,13	0:07:28
25.02.2025 11:00	- 0,90	0,66	- 0,09	0:17:28
25.02.2025 11:10	- 1,29	0,84	- 0,10	0:27:27
25.02.2025 11:20	- 1,58	0,92	- 0,08	0:37:27
25.02.2025 11:30	- 1,71	0,98	- 0,15	0:47:28
25.02.2025 11:40	- 1,86	0,95	- 0,17	0:57:27
25.02.2025 11:50	- 1,90	0,91	- 0,28	1:07:27
25.02.2025 12:00	- 1,95	0,86	- 0,39	1:17:27
25.02.2025 12:10	- 1,98	0,84	- 0,41	1:27:28
25.02.2025 12:20	- 1,99	0,70	- 0,49	1:37:27
25.02.2025 12:30	- 1,92	0,58	- 0,48	1:47:27
25.02.2025 12:40	- 1,93	0,57	- 0,55	1:57:27
25.02.2025 12:50	- 1,94	0,50	- 0,57	2:07:27
25.02.2025 13:00	- 1,97	0,47	- 0,60	2:17:29

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM: SS]	Odchylka temp5 [°C]	Odchylka temp6 [°C]	Maximální odchylka [°C]	Minimální odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM: SS]
25.02.2025 10:42	0,05	0,05	0,11	- 0,14	0:00:00
25.02.2025 10:50	0,12	0,18	0,18	- 0,32	0:07:28
25.02.2025 11:00	0,35	0,47	0,66	- 0,90	0:17:28
25.02.2025 11:10	0,53	0,71	0,84	- 1,29	0:27:27
25.02.2025 11:20	0,61	0,92	0,92	- 1,58	0:37:27
25.02.2025 11:30	0,73	0,98	0,98	- 1,71	0:47:28
25.02.2025 11:40	0,76	1,14	1,14	- 1,86	0:57:27
25.02.2025 11:50	0,91	1,22	1,22	- 1,90	1:07:27
25.02.2025 12:00	0,99	1,30	1,30	- 1,95	1:17:27
25.02.2025 12:10	1,02	1,34	1,34	- 1,98	1:27:28
25.02.2025 12:20	1,14	1,39	1,39	- 1,99	1:37:27
25.02.2025 12:30	1,15	1,34	1,34	- 1,92	1:47:27
25.02.2025 12:40	1,20	1,32	1,32	- 1,93	1:57:27
25.02.2025 12:50	1,25	1,37	1,37	- 1,94	2:07:27
25.02.2025 13:00	1,28	1,41	1,41	- 1,97	2:17:29

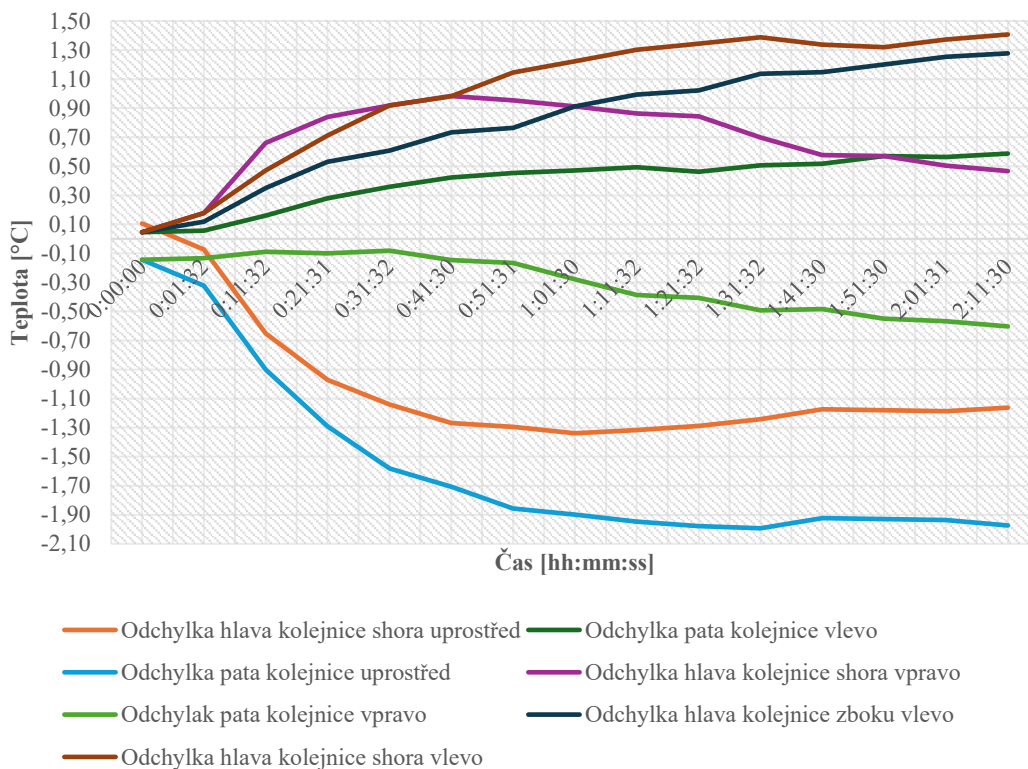
Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Rozpětí odchylek [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Variační koeficient [%]	Mediánová odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
25.02.2025 10:42	0,25	0,101	0,44	0,00	0:00:00
25.02.2025 10:50	0,50	0,186	0,80	0,12	0:07:28
25.02.2025 11:00	1,56	0,584	2,42	0,31	0:17:28
25.02.2025 11:10	2,13	0,835	3,32	0,43	0:27:27
25.02.2025 11:20	2,50	1,000	3,82	0,56	0:37:27
25.02.2025 11:30	2,69	1,095	4,05	0,56	0:47:28
25.02.2025 11:40	3,00	1,166	4,19	0,62	0:57:27
25.02.2025 11:50	3,12	1,214	4,25	0,75	1:07:27
25.02.2025 12:00	3,25	1,248	4,27	0,81	1:17:27
25.02.2025 12:10	3,32	1,259	4,22	0,87	1:27:28
25.02.2025 12:20	3,38	1,273	4,19	0,88	1:37:27
25.02.2025 12:30	3,26	1,225	3,98	0,82	1:47:27
25.02.2025 12:40	3,25	1,242	3,97	0,75	1:57:27
25.02.2025 12:50	3,31	1,259	3,98	0,87	2:07:27
25.02.2025 13:00	3,38	1,277	3,99	0,94	2:17:29

Průměrné rozpětí odchylek [°C]:	2,593
Průměrná směrodatná odchylka [°C]:	0,998
Průměrný variační koeficient [%]:	3,459
Median medianových odchylek [°C]:	0,750

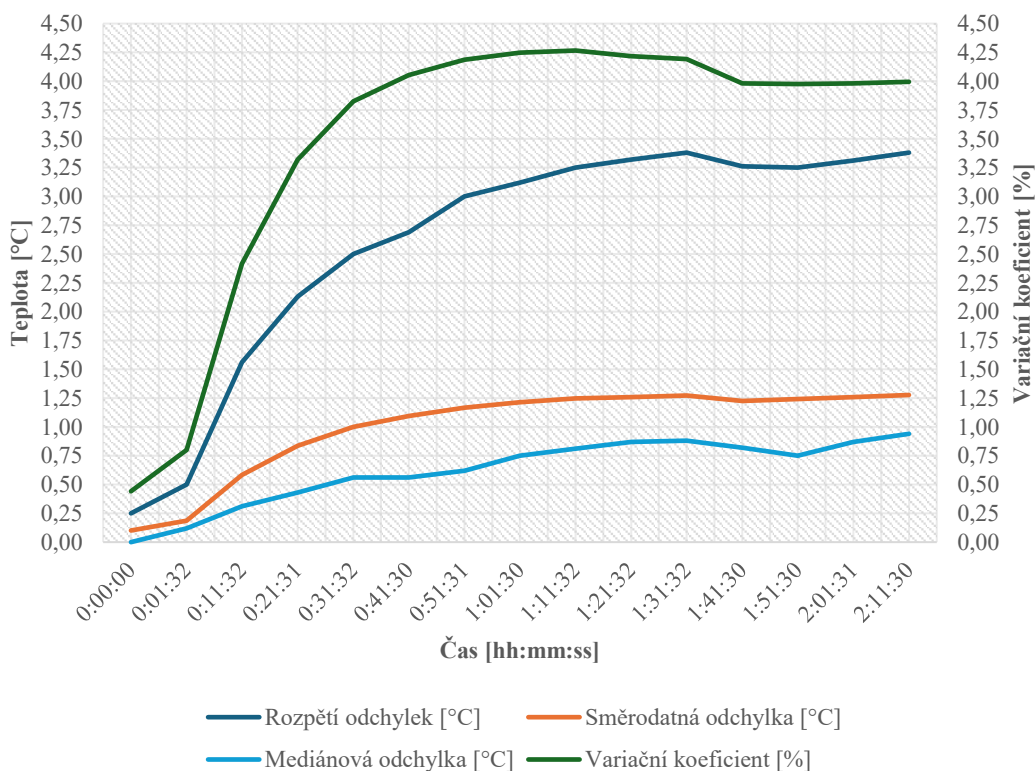
## Příloha 30.3. Grafy



### Zkouška ohřevu kolejnice 25.2.2024 (Napět'ová regulace 29 – 33 V)



### Zkouška ohřevu kolejnice 25.2.2024 (Napět'ová regulace 29 – 33 V)



### **Příloha 30.4. Závěr**

Při této zkoušce ohřevu se podařilo sjednotit nastavení citlivost digitálních teplotních sond DS18B20 na setiny °C. Byla také upravena poloha topných těles tak, aby byla zaručena větší rovnoměrnost ohřevu na všech měřených místech Ek. Konkrétně došlo k úpravě polohy bočních topných těles, které se v rámci elektricky izolovaného uchycení spustili co nejnižší tak, aby se podpořil ohřev paty kolejnice. Dále došlo k oddálení horních topných těles od povrchu hlavy kolejnice o 1 cm, aby se podpořilo snížení ohřevu v této oblasti.

Z výsledků této zkoušky ohřevu vyplývá, že ohřev ve středu Ek zaostává za ostatními místy na kolejnici. Dále bohužel došlo ke zjištění, že v rámci špatné manipulace došlo během zkoušky ohřevu k povytažení teplotní sondy na místě s názvem „Hlava kolejnice shora vpravo“ což zapříčinilo její nestandardní chování v podobě pomalejšího ohřevu patrné z grafu. Všechny tyto skutečnosti negativně ovlivnily statistické ukazatele.

Pro další zkoušku ohřevu bude nutné opravit umístění uvolněné teplotní sondy a dále upravovat polohu topných těles ve snaze dosáhnout rovnoměrného ohřevu na všech měřících bodech.

### **Příloha 30.5. Fotodokumentace**



### **Příloha 31. Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 3**

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 3
Datum zkoušky:	28.2.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Soustava teplotních sond DS18B20 Experimentální kolejnice Topná tělesa 1000 W (6 ks) Regulátory napětí (3 ks)	
3) Cíle zkoušky	
Cílem této zkoušky ohřevu bylo ověření optimalizace polohy topných těles. Konkrétně jejich otočení topných těles konektory směrem ke koncům Ek místo ke středu.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Příprava experimentální kolejnice.</li> <li>2) Příprava a instalace všech dvojic topných těles pomocí elektricky izolovaného uchycení.</li> <li>3) Umístění topných těles elektrickými konektory směrem ke koncům Ek.</li> <li>4) Zapojení elektrického obvodu topných těles.</li> <li>5) Instalace soustavy teplotních sond DS18B20</li> <li>6) Instalace regulátorů napětí a nastavení napětí na 29 V.</li> <li>7) Příprava bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 pro kontrolní měření.</li> <li>8) Zapojení ohřevné soustavy do elektrické sítě, zapnutí kontinuálního záznamu teploty v softwaru soustavy teplotních sond, zahájení ohřevu</li> <li>9) Vypojení soustavy ohřevu z elektrické sítě, zastavení záznamu teploty teplotních sond, ukončení zkoušky ohřevu.</li> </ol>	

## Příloha 31.1. Zdrojová data

Z důvodu agregace velkého množství naměřených dat ze soustavy teplotních sond jsou zde prezentována a vyhodnocována data vždy s krokem po deseti minutách.

ID	Název	Poloha
28D4E7D509000083	temp0	Hlava kolejnice shora uprostřed
2809CAD509000019	temp1	Pata kolejnice vlevo
282D6CD409000053	temp2	Pata kolejnice uprostřed
28FD82D4090000EF	temp3	Hlava kolejnice shora vpravo
2857A6350A0000B9	temp4	Pata kolejnice vpravo
288F63D509000081	temp5	Hlava kolejnice z boku vlevo
289FF2D5090000A0	temp6	Hlava kolejnice shora vlevo

Čas měření [s]	Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	temp0 [°C]	temp1 [°C]	temp2 [°C]	temp3 [°C]	temp4 [°C]	temp5 [°C]	temp6 [°C]
0,7	28.02.2025 09:59	23	22,94	22,81	22,87	22,81	22,94	22,87
622,7	28.02.2025 10:10	23,62	23,31	23,19	23,37	23,19	23,5	23,44
1222,8	28.02.2025 10:20	24,62	24,12	24	24,25	23,87	24,5	24,25
1822,9	28.02.2025 10:30	25,69	24,87	24,94	25,06	24,62	25,56	25,12
2423	28.02.2025 10:40	26,94	25,81	26	26	25,5	26,81	26,12
3023,1	28.02.2025 10:50	28,19	26,69	27,12	26,94	26,37	28	27
3623,1	28.02.2025 11:00	29,25	27,44	28,19	27,75	27,06	29,06	27,81
4223,2	28.02.2025 11:10	30,25	28,19	29,12	28,44	27,75	30,06	28,5
4823,2	28.02.2025 11:20	31,19	28,81	30	29,06	28,31	30,94	29,19
5421,6	28.02.2025 11:30	32	29,37	30,81	29,69	28,87	31,69	29,75
6021,5	28.02.2025 11:40	32,75	29,87	31,5	30,25	29,37	32,44	30,31
6621,5	28.02.2025 11:50	33,44	30,37	32,13	30,75	29,87	33,06	30,81
7220,9	28.02.2025 12:00	34	30,81	32,69	31,06	30,25	33,56	31,31
7822,2	28.02.2025 12:10	34,63	31,19	33,19	31,56	30,62	34,19	31,75
8421,3	28.02.2025 12:20	35,25	31,56	33,63	31,94	31	34,75	32,19
9022	28.02.2025 12:30	35,75	31,94	34,13	32,38	31,31	35,19	32,63
9622,9	28.02.2025 12:40	36,19	32,31	34,56	32,69	31,62	35,63	33
10222,3	28.02.2025 12:50	36,63	32,63	34,94	33,06	31,94	36,06	33,31
10823	28.02.2025 13:00	36,94	32,88	35,25	33,38	32,25	36,38	33,56

## Příloha 31.2. Výpočty a zpracování dat

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM: SS]	Průměrná teplota kolejnice [°C]	Odchylka temp0 [°C]	Odchylka temp1 [°C]	Čas měření [HH:MM: SS]
28.02.2025 9:59	22,89	0,11	0,05	0:00:00
28.02.2025 10:10	23,37	0,25	- 0,06	0:10:22
28.02.2025 10:20	24,23	0,39	- 0,11	0:20:22
28.02.2025 10:30	25,12	0,57	- 0,25	0:30:22
28.02.2025 10:40	26,17	0,77	- 0,36	0:40:22
28.02.2025 10:50	27,19	1,00	- 0,50	0:50:22
28.02.2025 11:00	28,08	1,17	- 0,64	1:00:22
28.02.2025 11:10	28,90	1,35	- 0,71	1:10:22
28.02.2025 11:20	29,64	1,55	- 0,83	1:20:22
28.02.2025 11:30	30,31	1,69	- 0,94	1:30:21
28.02.2025 11:40	30,93	1,82	- 1,06	1:40:21
28.02.2025 11:50	31,49	1,95	- 1,12	1:50:20
28.02.2025 12:00	31,95	2,05	- 1,14	2:00:20
28.02.2025 12:10	32,45	2,18	- 1,26	2:10:21
28.02.2025 12:20	32,90	2,35	- 1,34	2:20:20
28.02.2025 12:30	33,33	2,42	- 1,39	2:30:21
28.02.2025 12:40	33,71	2,48	- 1,40	2:40:22
28.02.2025 12:50	34,08	2,55	- 1,45	2:50:21
28.02.2025 13:00	34,38	2,56	- 1,50	3:00:22

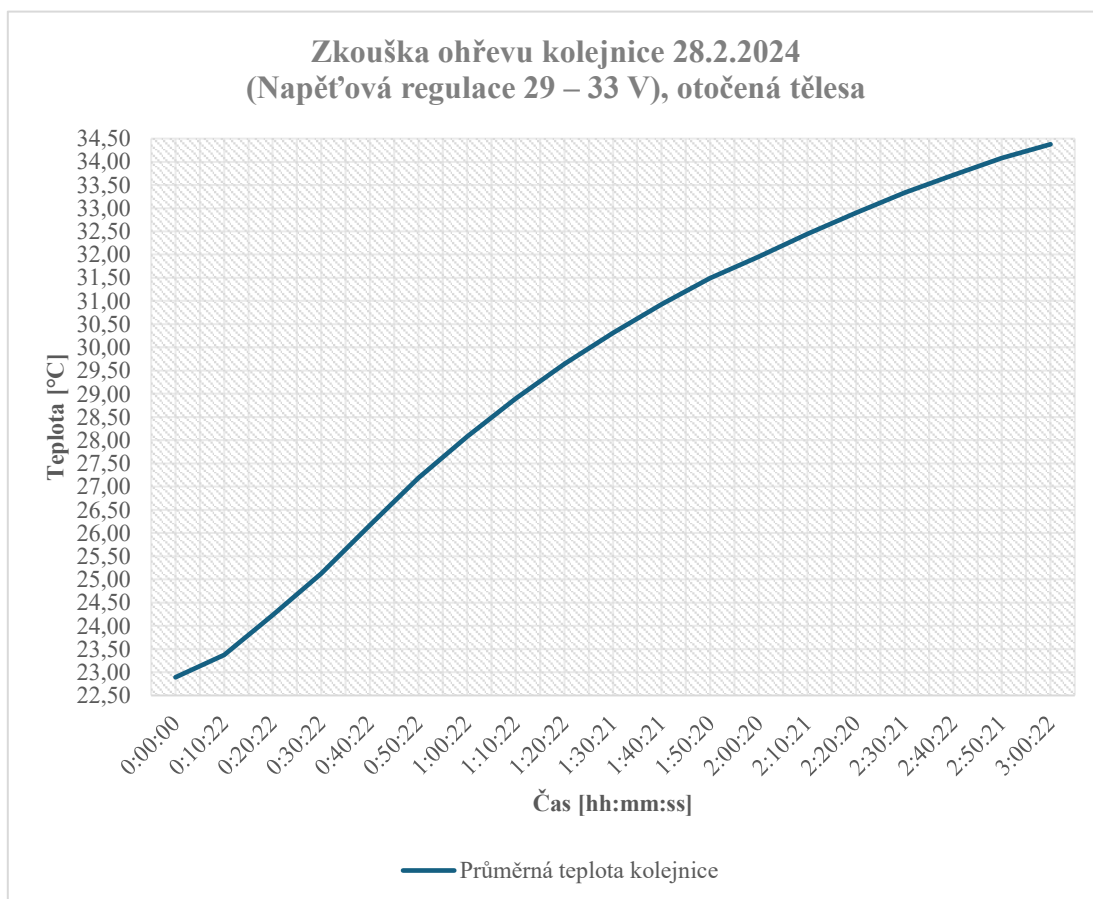
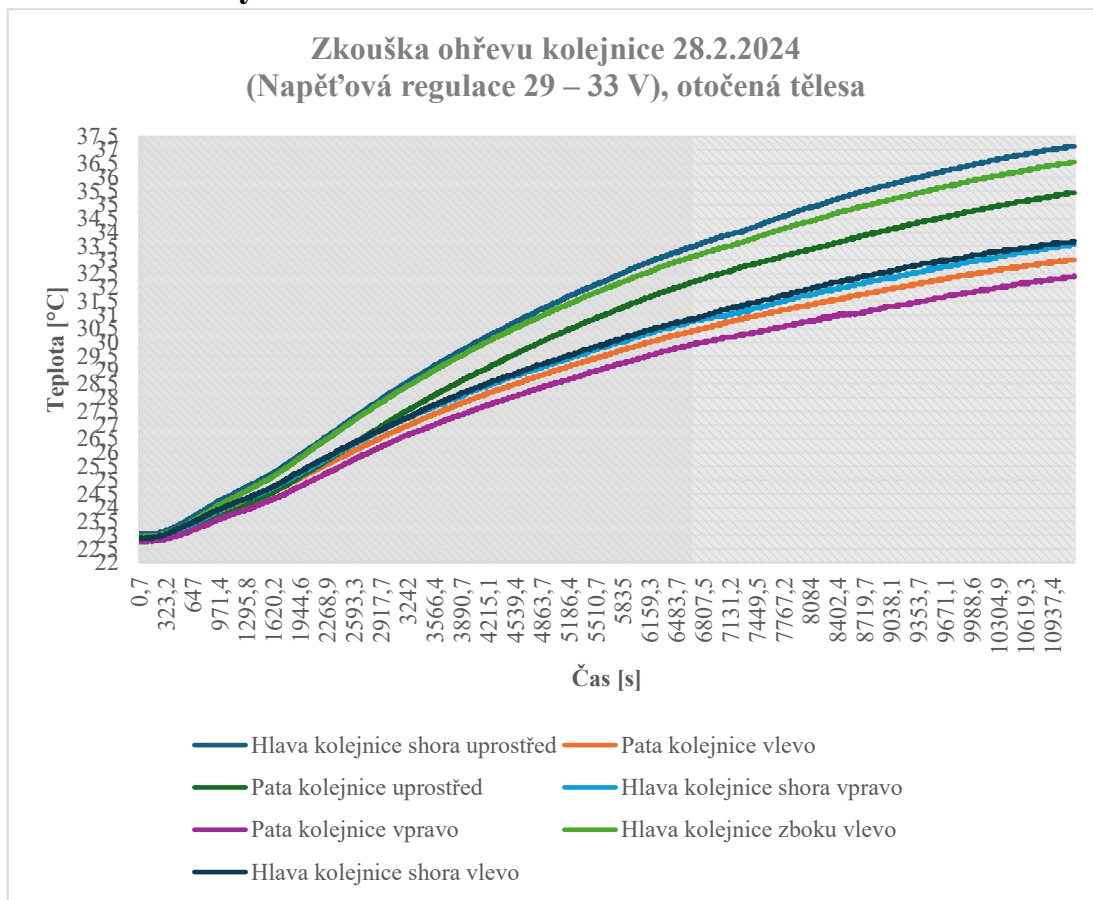
Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM: SS]	Odchylka temp2 [°C]	Odchylka temp3 [°C]	Odchylka temp4 [°C]	Čas měření [HH:MM: SS]
28.02.2025 9:59	- 0,08	- 0,02	- 0,08	0:00:00
28.02.2025 10:10	- 0,18	0,00	- 0,18	0:10:22
28.02.2025 10:20	- 0,23	0,02	- 0,36	0:20:22
28.02.2025 10:30	- 0,18	- 0,06	- 0,50	0:30:22
28.02.2025 10:40	- 0,17	- 0,17	- 0,67	0:40:22
28.02.2025 10:50	- 0,07	- 0,25	- 0,82	0:50:22
28.02.2025 11:00	0,11	- 0,33	- 1,02	1:00:22
28.02.2025 11:10	0,22	- 0,46	- 1,15	1:10:22
28.02.2025 11:20	0,36	- 0,58	- 1,33	1:20:22
28.02.2025 11:30	0,50	- 0,62	- 1,44	1:30:21
28.02.2025 11:40	0,57	- 0,68	- 1,56	1:40:21
28.02.2025 11:50	0,64	- 0,74	- 1,62	1:50:20
28.02.2025 12:00	0,74	- 0,89	- 1,70	2:00:20
28.02.2025 12:10	0,74	- 0,89	- 1,83	2:10:21
28.02.2025 12:20	0,73	- 0,96	- 1,90	2:20:20
28.02.2025 12:30	0,80	- 0,95	- 2,02	2:30:21
28.02.2025 12:40	0,85	- 1,02	- 2,09	2:40:22
28.02.2025 12:50	0,86	- 1,02	- 2,14	2:50:21
28.02.2025 13:00	0,87	- 1,00	- 2,13	3:00:22

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM: SS]	Odchylka temp5 [°C]	Odchylka temp6 [°C]	Maximální odchylka [°C]	Minimální odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM: SS]
28.02.2025 9:59	0,05	- 0,02	0,11	- 0,08	0:00:00
28.02.2025 10:10	0,13	0,07	0,25	- 0,18	0:10:22
28.02.2025 10:20	0,27	0,02	0,39	- 0,36	0:20:22
28.02.2025 10:30	0,44	0,00	0,57	- 0,50	0:30:22
28.02.2025 10:40	0,64	- 0,05	0,77	- 0,67	0:40:22
28.02.2025 10:50	0,81	- 0,19	1,00	- 0,82	0:50:22
28.02.2025 11:00	0,98	- 0,27	1,17	- 1,02	1:00:22
28.02.2025 11:10	1,16	- 0,40	1,35	- 1,15	1:10:22
28.02.2025 11:20	1,30	- 0,45	1,55	- 1,33	1:20:22
28.02.2025 11:30	1,38	- 0,56	1,69	- 1,44	1:30:21
28.02.2025 11:40	1,51	- 0,62	1,82	- 1,56	1:40:21
28.02.2025 11:50	1,57	- 0,68	1,95	- 1,62	1:50:20
28.02.2025 12:00	1,61	- 0,64	2,05	- 1,70	2:00:20
28.02.2025 12:10	1,74	- 0,70	2,18	- 1,83	2:10:21
28.02.2025 12:20	1,85	- 0,71	2,35	- 1,90	2:20:20
28.02.2025 12:30	1,86	- 0,70	2,42	- 2,02	2:30:21
28.02.2025 12:40	1,92	- 0,71	2,48	- 2,09	2:40:22
28.02.2025 12:50	1,98	- 0,77	2,55	- 2,14	2:50:21
28.02.2025 13:00	2,00	- 0,82	2,56	- 2,13	3:00:22

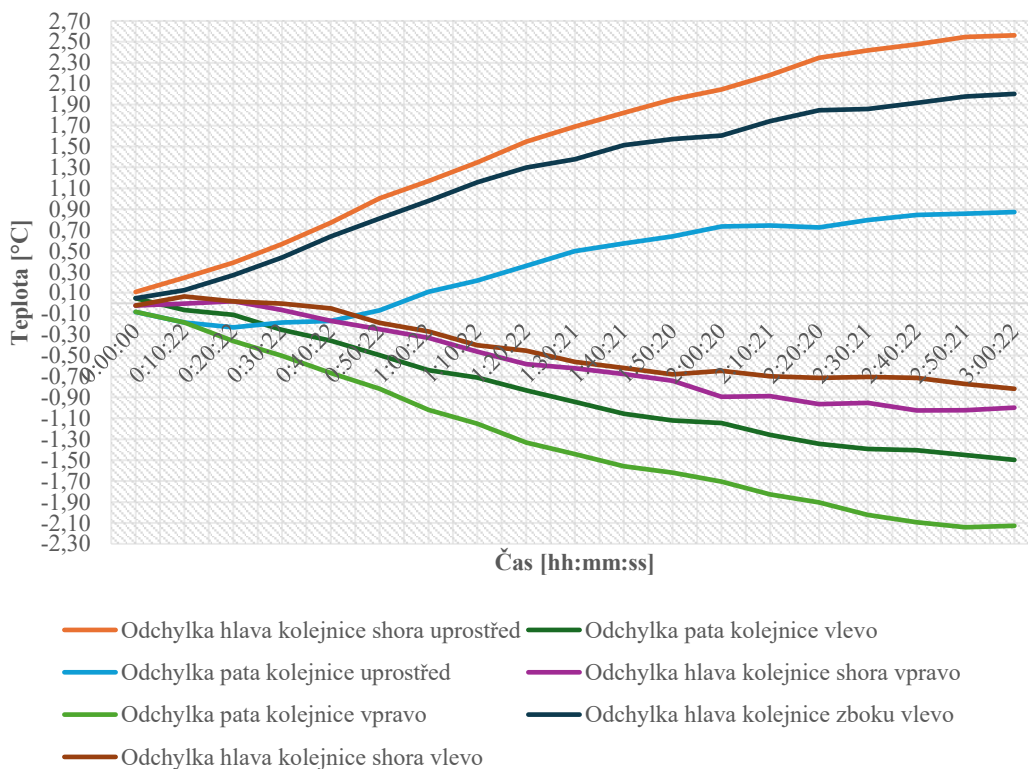
Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Rozpětí odchylek [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Variační koeficient [%]	Mediánová odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM: SS]
28.02.2025 9:59	0,19	0,072	0,31	0,06	0:00:00
28.02.2025 10:10	0,43	0,159	0,68	0,13	0:10:22
28.02.2025 10:20	0,75	0,265	1,09	0,25	0:20:22
28.02.2025 10:30	1,07	0,380	1,51	0,19	0:30:22
28.02.2025 10:40	1,44	0,523	2,00	0,19	0:40:22
28.02.2025 10:50	1,82	0,669	2,46	0,31	0:50:22
28.02.2025 11:00	2,19	0,814	2,90	0,38	1:00:22
28.02.2025 11:10	2,50	0,950	3,29	0,62	1:10:22
28.02.2025 11:20	2,88	1,097	3,70	0,81	1:20:22
28.02.2025 11:30	3,13	1,202	3,96	0,88	1:30:21
28.02.2025 11:40	3,38	1,312	4,24	0,94	1:40:21
28.02.2025 11:50	3,57	1,388	4,41	0,94	1:50:20
28.02.2025 12:00	3,75	1,457	4,56	1,06	2:00:20
28.02.2025 12:10	4,01	1,557	4,80	1,13	2:10:21
28.02.2025 12:20	4,25	1,649	5,01	1,19	2:20:20
28.02.2025 12:30	4,44	1,701	5,10	1,32	2:30:21
28.02.2025 12:40	4,57	1,753	5,20	1,38	2:40:22
28.02.2025 12:50	4,69	1,802	5,29	1,37	2:50:21
28.02.2025 13:00	4,69	1,815	5,28	1,31	3:00:22

Průměrné rozpětí odchylek [°C]:	2,829
Průměrná směrodatná odchylka [°C]:	1,082
Průměrný variační koeficient [%]:	3,463
Median medianových odchylek [°C]:	0,880

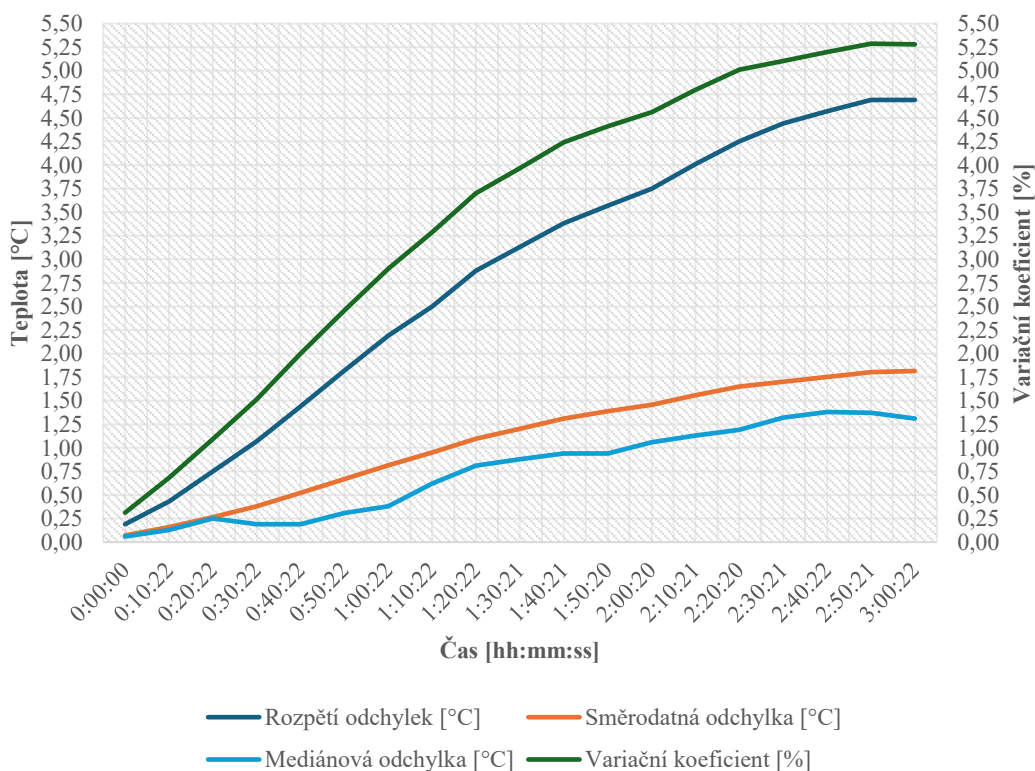
### Příloha 31.3. Grafy



### Zkouška ohřevu kolejnice 28.2.2024 (Napět'ová regulace 29 – 33 V), otočená tělesa



### Zkouška ohřevu kolejnice 28.2.2024 (Napět'ová regulace 29 – 33 V), otočená tělesa



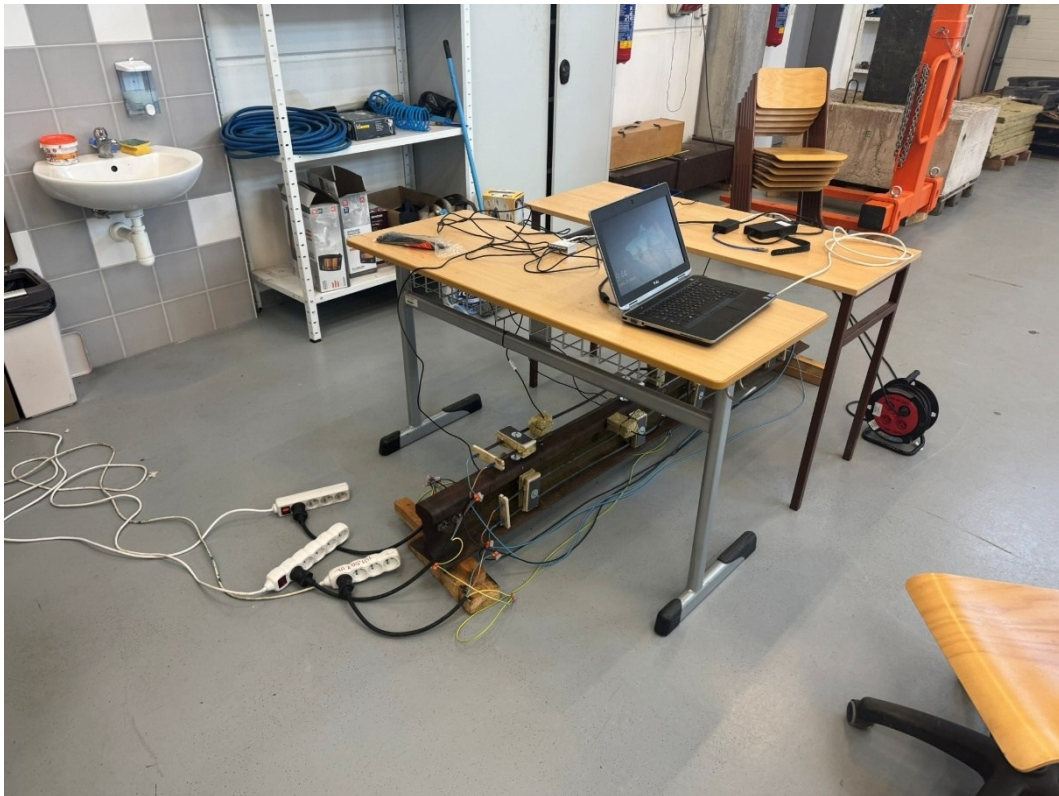
## Příloha 31.4. Závěr

Tato zkouška byla první, ve které došlo k otočení topných těles tak, aby jejich elektrické konektory směřovaly ke koncům experimentální kolejnice. Tato úprava vycházela z předchozích zkoušek, kde byl opakovaně zaznamenán slabší ohřev v oblasti středu kolejnice, což bylo způsobeno právě umístěním konektorů v této části. Nová konfigurace měla za cíl tento problém odstranit.

Výsledky potvrdily, že zvolená úprava vedla ke zlepšení teplotního rozložení. V oblasti středu EK se podařilo zamezit vzniku teplotního stínu, který byl dříve způsoben přítomností konektorů, a teploty v tomto místě dosáhly srovnatelných hodnot jako na ostatních měřených místech. Zároveň se však ukázalo, že právě ve středu dochází k lokálnímu přehřívání, což snižuje celkovou rovnoměrnost ohřevu.

Zkouška potvrdila správnost zvoleného směru vývoje. Eliminuje se dosavadní problém s pokrytím středu kolejnice, ale zároveň vyvstává potřeba upravit vzdálenost topných těles od této oblasti. Následující zkoušky se proto zaměří na hledání vyváženější konfigurace, která umožní zachovat rovnoměrné teplotní pole po celé délce EK bez vzniku přehřívání oblastí.

## Příloha 31.5. Fotodokumentace



## Příloha 32. Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 4

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 4
Datum zkoušky:	4.3.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Soustava teplotních sond DS18B20 Experimentální kolejnice Topná tělesa 1000 W (6 ks) Regulátory napětí (3 ks)	
3) Cíle zkoušky	
Cílem této zkoušky ohřevu bylo ověření optimalizace polohy topných těles. Konkrétně jejich oddálení od středu Ek na hodnotu 45 mm. Dalším cílem je ověření zlepšení rovnoměrnosti ohřevu při různém nastavení napětí na regulátorech pro horní a boční topná tělesa. Konkrétně boční 44 V a horní 24 V.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Příprava experimentální kolejnice.</li> <li>2) Příprava a instalace všech dvojic topných těles pomocí elektricky izolovaného uchycení.</li> <li>3) Úprava umístění topných těles na vzdálenost 45 mm od středu Ek.</li> <li>4) Zapojení elektrického obvodu topných těles.</li> <li>5) Instalace soustavy teplotních sond DS18B20</li> <li>6) Instalace regulátorů napětí a nastavení napětí na 44 V boční topná tělesa a 24 V horní topná tělesa.</li> <li>7) Příprava bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 pro kontrolní měření.</li> <li>8) Zapojení ohřevné soustavy do elektrické sítě, zapnutí kontinuálního záznamu teploty v softwaru soustavy teplotních sond, zahájení ohřevu</li> <li>9) Vypojení soustavy ohřevu z elektrické sítě, zastavení záznamu teploty teplotních sond, ukončení zkoušky ohřevu.</li> </ol>	

### Příloha 32.1. Zdrojová data

Z důvodu agregace velkého množství naměřených dat ze soustavy teplotních sond jsou zde prezentována a vyhodnocována data vždy s krokem po deseti minutách.

ID	Název	Poloha
28D4E7D509000083	temp0	Hlava kolejnice shora uprostřed
2809CAD509000019	temp1	Pata kolejnice vlevo
282D6CD409000053	temp2	Pata kolejnice uprostřed
28FD82D4090000EF	temp3	Hlava kolejnice shora vpravo
2857A6350A0000B9	temp4	Pata kolejnice vpravo
288F63D509000081	temp5	Hlava kolejnice z boku vlevo
289FF2D5090000A0	temp6	Hlava kolejnice shora vlevo

Čas měření [s]	Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM: SS]	temp0 [°C]	temp1 [°C]	temp2 [°C]	temp3 [°C]	temp4 [°C]	temp5 [°C]	temp6 [°C]
0,7	04.03.2025 12:41	22,56	22,44	22,37	22,56	22,37	22,5	22,37
500,9	04.03.2025 12:50	23,12	23,06	22,87	23,19	23	23,25	23,06
1101	04.03.2025 13:00	24,5	24,5	24,19	24,62	24,37	24,87	24,44
1701,1	04.03.2025 13:10	26,06	25,94	25,69	26	25,75	26,5	25,81
2301,2	04.03.2025 13:20	27,69	27,31	27,31	27,5	27,12	28,31	27,25
2901,2	04.03.2025 13:30	29,31	28,62	28,87	28,81	28,44	30	28,56
3501,3	04.03.2025 13:40	30,81	29,81	30,31	30,06	29,56	31,56	29,75
4101,2	04.03.2025 13:50	32,19	30,75	31,5	30,94	30,31	32,75	30,81
4701,2	04.03.2025 14:00	33,44	31,62	32,56	31,75	31,12	33,94	31,75
5301,1	04.03.2025 14:10	34,44	32,31	33,5	32,5	31,75	34,88	32,5
5901,1	04.03.2025 14:20	35,38	33	34,38	33,19	32,38	35,75	33,19
6501	04.03.2025 14:30	36,06	33,5	35,06	33,75	32,88	36,44	33,75
7100,9	04.03.2025 14:40	36,69	33,94	35,63	34,19	33,31	37	34,19
7700,8	04.03.2025 14:50	37,19	34,31	36,13	34,56	33,69	37,5	34,63
8300,6	04.03.2025 15:00	37,63	34,63	36,5	34,94	34	37,88	34,94
8903,2	04.03.2025 15:10	37,94	34,88	36,81	35,19	34,25	38,19	35,19
9503,1	04.03.2025 15:20	38,25	35,13	37,06	35,44	34,5	38,44	35,44
10103	04.03.2025 15:30	38,44	35,31	37,31	35,63	34,63	38,63	35,69
10702,8	04.03.2025 15:40	38,69	35,5	37,5	35,81	34,75	38,81	35,88
11302,7	04.03.2025 15:50	38,88	35,63	37,63	35,94	34,88	39,06	36,06
11902,5	04.03.2025 16:00	39	35,88	37,81	36,06	35	39,19	36,25
12502,4	04.03.2025 16:10	39,19	36	38	36,25	35,19	39,31	36,38
13102,3	04.03.2025 16:20	39,38	36,13	38,13	36,38	35,31	39,5	36,63
13702,1	04.03.2025 16:30	39,5	36,31	38,25	36,5	35,44	39,69	36,75
14302	04.03.2025 16:40	39,75	36,5	38,5	36,69	35,63	39,94	36,94

## Příloha 32.2. Výpočty a zpracování dat

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM: SS]	Průměrná teplota kolejnice [°C]	Odchylka temp0 [°C]	Odchylka temp1 [°C]	Čas měření [HH:MM: SS]
04.03.2025 12:41	22,45	0,11	- 0,01	0:00:00
04.03.2025 12:50	23,08	0,04	- 0,02	0:08:20
04.03.2025 13:00	24,50	0,00	0,00	0:18:20
04.03.2025 13:10	25,96	0,10	- 0,02	0:28:20
04.03.2025 13:20	27,50	0,19	- 0,19	0:38:20
04.03.2025 13:30	28,94	0,37	- 0,32	0:48:20
04.03.2025 13:40	30,27	0,54	- 0,46	0:58:20
04.03.2025 13:50	31,32	0,87	- 0,57	1:08:20
04.03.2025 14:00	32,31	1,13	- 0,69	1:18:20
04.03.2025 14:10	33,13	1,31	- 0,82	1:28:20
04.03.2025 14:20	33,90	1,48	- 0,90	1:38:20
04.03.2025 14:30	34,49	1,57	- 0,99	1:48:20
04.03.2025 14:40	34,99	1,70	- 1,05	1:58:20
04.03.2025 14:50	35,43	1,76	- 1,12	2:08:20
04.03.2025 15:00	35,79	1,84	- 1,16	2:18:20
04.03.2025 15:10	36,06	1,88	- 1,18	2:28:22
04.03.2025 15:20	36,32	1,93	- 1,19	2:38:22
04.03.2025 15:30	36,52	1,92	- 1,21	2:48:22
04.03.2025 15:40	36,71	1,98	- 1,21	2:58:22
04.03.2025 15:50	36,87	2,01	- 1,24	3:08:22
04.03.2025 16:00	37,03	1,97	- 1,15	3:18:21
04.03.2025 16:10	37,19	2,00	- 1,19	3:28:21
04.03.2025 16:20	37,35	2,03	- 1,22	3:38:21
04.03.2025 16:30	37,49	2,01	- 1,18	3:48:21
04.03.2025 16:40	37,71	2,04	- 1,21	3:58:21

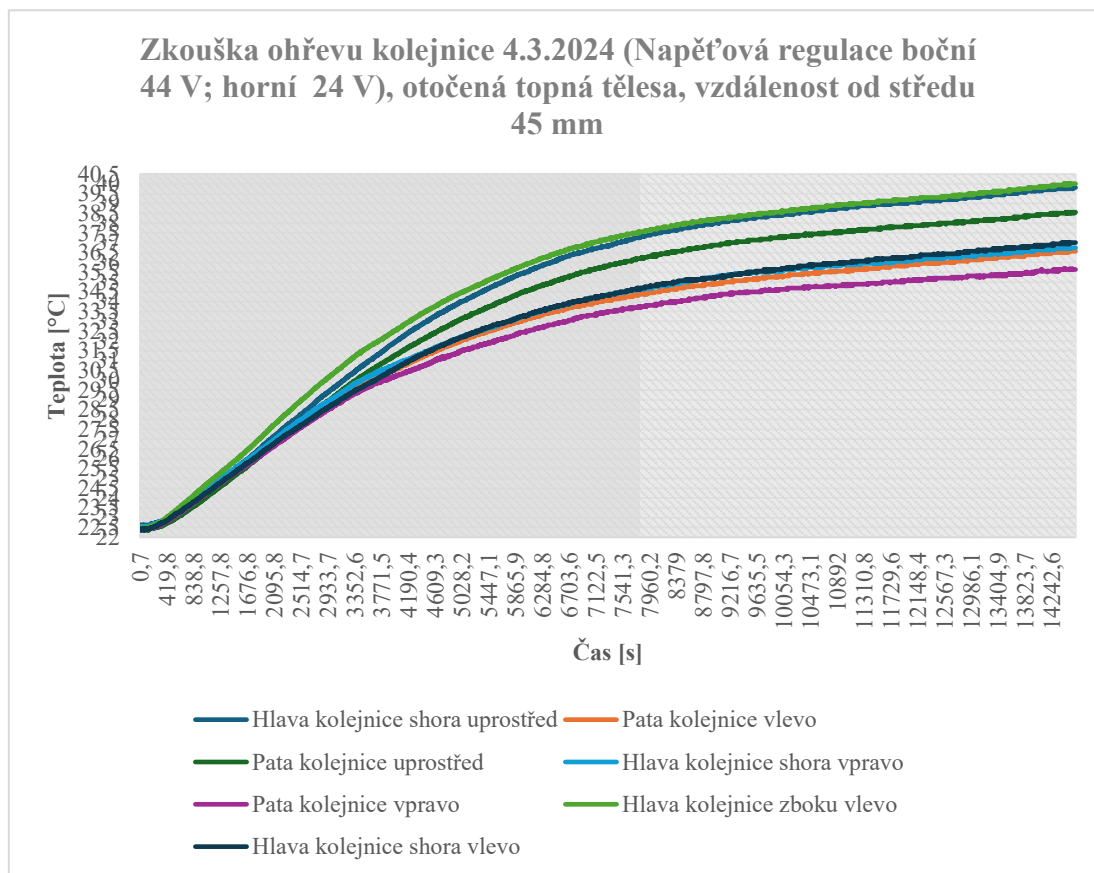
Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Odchylka temp2 [°C]	Odchylka temp3 [°C]	Odchylka temp4 [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
04.03.2025 12:41	- 0,08	0,11	- 0,08	0:00:00
04.03.2025 12:50	- 0,21	0,11	- 0,08	0:08:20
04.03.2025 13:00	- 0,31	0,12	- 0,13	0:18:20
04.03.2025 13:10	- 0,27	0,04	- 0,21	0:28:20
04.03.2025 13:20	- 0,19	0,00	- 0,38	0:38:20
04.03.2025 13:30	- 0,07	- 0,13	- 0,50	0:48:20
04.03.2025 13:40	0,04	- 0,21	- 0,71	0:58:20
04.03.2025 13:50	0,18	- 0,38	- 1,01	1:08:20
04.03.2025 14:00	0,25	- 0,56	- 1,19	1:18:20
04.03.2025 14:10	0,37	- 0,63	- 1,38	1:28:20
04.03.2025 14:20	0,48	- 0,71	- 1,52	1:38:20
04.03.2025 14:30	0,57	- 0,74	- 1,61	1:48:20
04.03.2025 14:40	0,64	- 0,80	- 1,68	1:58:20
04.03.2025 14:50	0,70	- 0,87	- 1,74	2:08:20
04.03.2025 15:00	0,71	- 0,85	- 1,79	2:18:20
04.03.2025 15:10	0,75	- 0,87	- 1,81	2:28:22
04.03.2025 15:20	0,74	- 0,88	- 1,82	2:38:22
04.03.2025 15:30	0,79	- 0,89	- 1,89	2:48:22
04.03.2025 15:40	0,79	- 0,90	- 1,96	2:58:22
04.03.2025 15:50	0,76	- 0,93	- 1,99	3:08:22
04.03.2025 16:00	0,78	- 0,97	- 2,03	3:18:21
04.03.2025 16:10	0,81	- 0,94	- 2,00	3:28:21
04.03.2025 16:20	0,78	- 0,97	- 2,04	3:38:21
04.03.2025 16:30	0,76	- 0,99	- 2,05	3:48:21
04.03.2025 16:40	0,79	- 1,02	- 2,08	3:58:21

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM: SS]	Odchylka temp5 [°C]	Odchylka temp6 [°C]	Maximální odchylka [°C]	Minimální odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM: SS]
04.03.2025 12:41	0,05	- 0,08	0,11	- 0,08	0:00:00
04.03.2025 12:50	0,17	- 0,02	0,17	- 0,21	0:08:20
04.03.2025 13:00	0,37	- 0,06	0,37	- 0,31	0:18:20
04.03.2025 13:10	0,54	- 0,15	0,54	- 0,27	0:28:20
04.03.2025 13:20	0,81	- 0,25	0,81	- 0,38	0:38:20
04.03.2025 13:30	1,06	- 0,38	1,06	- 0,50	0:48:20
04.03.2025 13:40	1,29	- 0,52	1,29	- 0,71	0:58:20
04.03.2025 13:50	1,43	- 0,51	1,43	- 1,01	1:08:20
04.03.2025 14:00	1,63	- 0,56	1,63	- 1,19	1:18:20
04.03.2025 14:10	1,75	- 0,63	1,75	- 1,38	1:28:20
04.03.2025 14:20	1,85	- 0,71	1,85	- 1,52	1:38:20
04.03.2025 14:30	1,95	- 0,74	1,95	- 1,61	1:48:20
04.03.2025 14:40	2,01	- 0,80	2,01	- 1,68	1:58:20
04.03.2025 14:50	2,07	- 0,80	2,07	- 1,74	2:08:20
04.03.2025 15:00	2,09	- 0,85	2,09	- 1,79	2:18:20
04.03.2025 15:10	2,13	- 0,87	2,13	- 1,81	2:28:22
04.03.2025 15:20	2,12	- 0,88	2,12	- 1,82	2:38:22
04.03.2025 15:30	2,11	- 0,83	2,11	- 1,89	2:48:22
04.03.2025 15:40	2,10	- 0,83	2,10	- 1,96	2:58:22
04.03.2025 15:50	2,19	- 0,81	2,19	- 1,99	3:08:22
04.03.2025 16:00	2,16	- 0,78	2,16	- 2,03	3:18:21
04.03.2025 16:10	2,12	- 0,81	2,12	- 2,00	3:28:21
04.03.2025 16:20	2,15	- 0,72	2,15	- 2,04	3:38:21
04.03.2025 16:30	2,20	- 0,74	2,20	- 2,05	3:48:21
04.03.2025 16:40	2,23	- 0,77	2,23	- 2,08	3:58:21

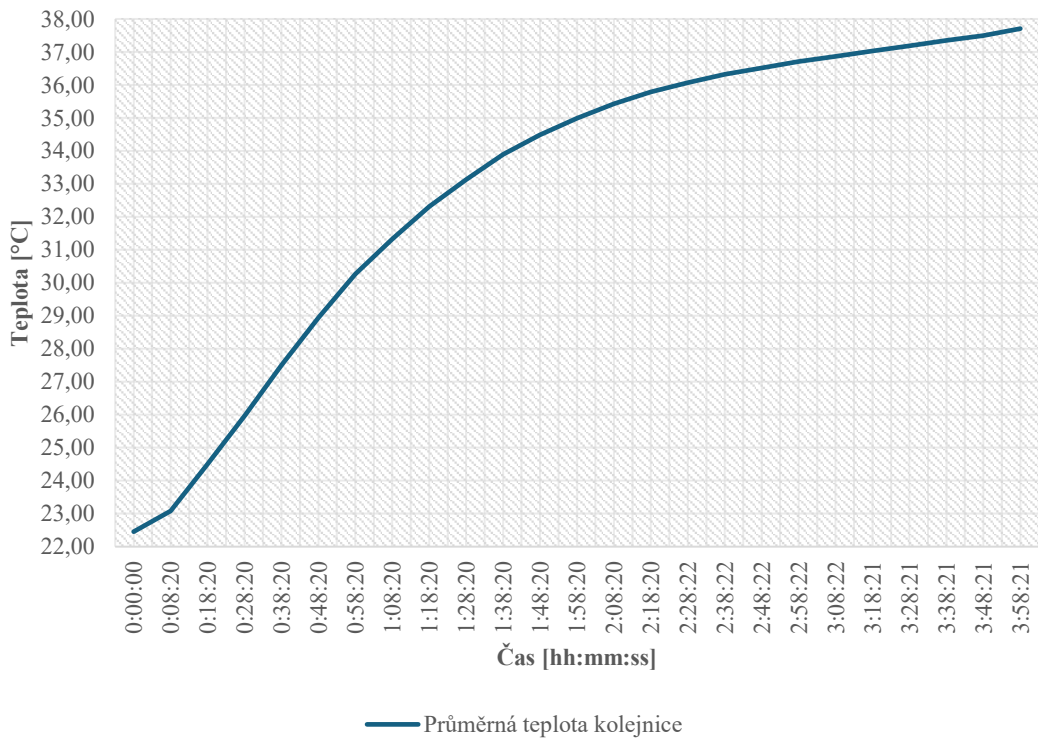
Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Rozpětí odchylek [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Variační koeficient [%]	Mediánová odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM: SS]
04.03.2025 12:41	0,19	0,088	0,39	0,07	0:00:00
04.03.2025 12:50	0,38	0,125	0,54	0,06	0:08:20
04.03.2025 13:00	0,68	0,211	0,86	0,12	0:18:20
04.03.2025 13:10	0,81	0,272	1,05	0,13	0:28:20
04.03.2025 13:20	1,19	0,402	1,46	0,19	0:38:20
04.03.2025 13:30	1,56	0,545	1,88	0,25	0:48:20
04.03.2025 13:40	2,00	0,706	2,33	0,31	0:58:20
04.03.2025 13:50	2,44	0,874	2,79	0,56	1:08:20
04.03.2025 14:00	2,82	1,042	3,23	0,63	1:18:20
04.03.2025 14:10	3,13	1,175	3,55	0,75	1:28:20
04.03.2025 14:20	3,37	1,289	3,80	0,81	1:38:20
04.03.2025 14:30	3,56	1,370	3,97	0,87	1:48:20
04.03.2025 14:40	3,69	1,446	4,13	0,88	1:58:20
04.03.2025 14:50	3,81	1,503	4,24	0,94	2:08:20
04.03.2025 15:00	3,88	1,541	4,31	0,94	2:18:20
04.03.2025 15:10	3,94	1,571	4,36	0,94	2:28:22
04.03.2025 15:20	3,94	1,583	4,36	0,94	2:38:22
04.03.2025 15:30	4,00	1,596	4,37	1,06	2:48:22
04.03.2025 15:40	4,06	1,621	4,42	1,13	2:58:22
04.03.2025 15:50	4,18	1,655	4,49	1,18	3:08:22
04.03.2025 16:00	4,19	1,641	4,43	1,25	3:18:21
04.03.2025 16:10	4,12	1,638	4,41	1,19	3:28:21
04.03.2025 16:20	4,19	1,656	4,43	1,32	3:38:21
04.03.2025 16:30	4,25	1,662	4,43	1,31	3:48:21
04.03.2025 16:40	4,31	1,692	4,49	1,31	3:58:21

Průměrné rozpětí odchylek [°C]:	2,988
Průměrná směrodatná odchylka [°C]:	1,156
Průměrný variační koeficient [%]:	3,309
Median medianových odchylek [°C]:	0,880

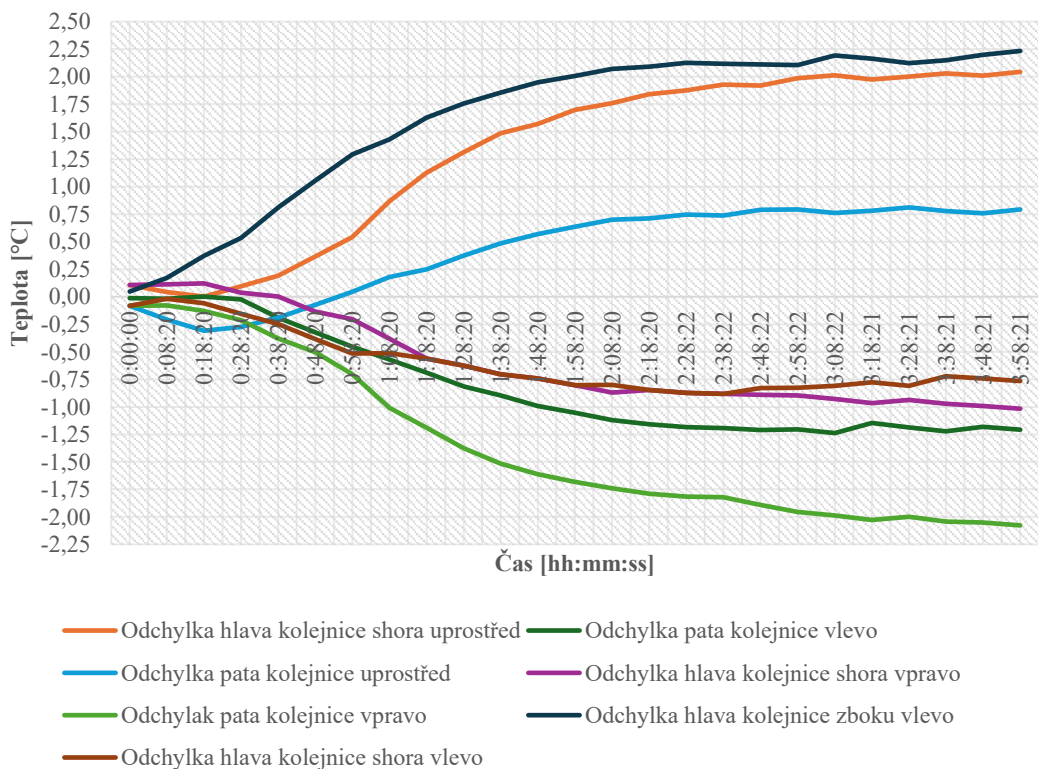
## Příloha 32.3. Grafy



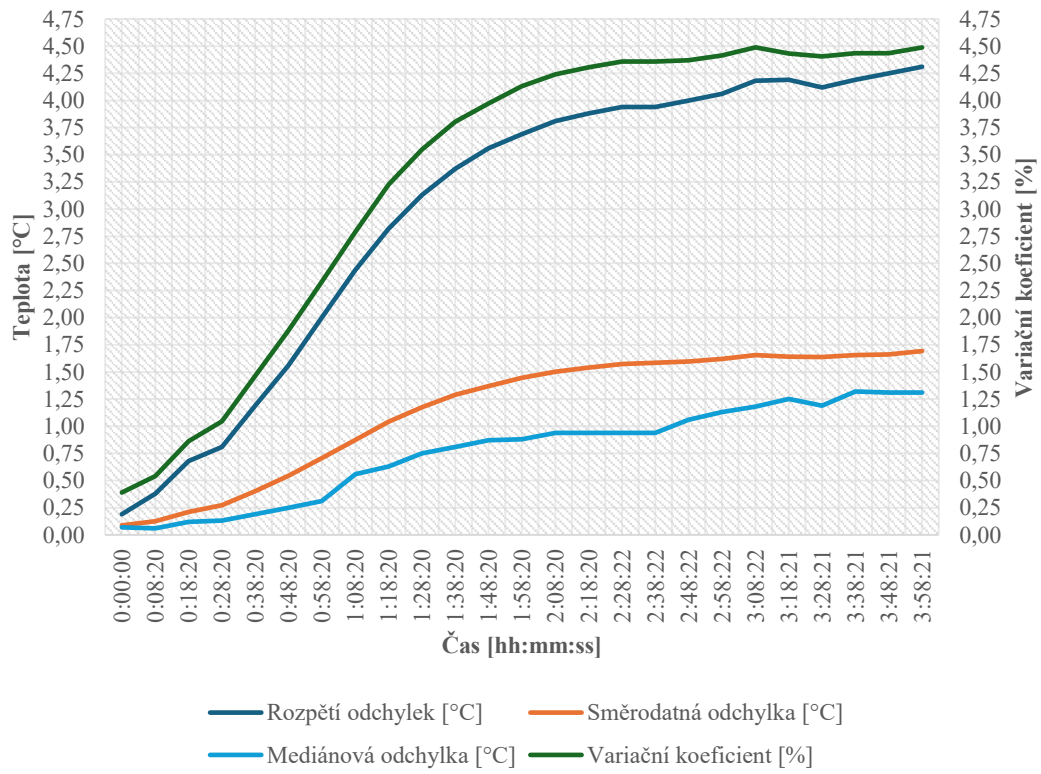
**Zkouška ohřevu kolejnice 4.3.2024 (Napět'ová regulace boční 44 V; horní 24 V), otočená tělesa, vzdálenost od středu 45 mm**



**Zkouška ohřevu kolejnice 4.3.2024 (Napět'ová regulace boční 44 V; horní 24 V), otočená tělesa, vzdálenost od středu 45 mm**



**Zkouška ohřevu kolejnice 4.3.2024 (Napět'ová regulace boční 44 V; horní 24 V), otočená tělesa, vzdálenost od středu 45 mm**



## **Příloha 32.4. Závěr**

Cílem této zkoušky bylo ověřit vliv rozdílného napětí na horních a bočních topných tělesech a současně posoudit vliv jejich oddálení od středu experimentální kolejnice. Boční topná tělesa byla napájena napětím 44 V, zatímco horní tělesa byla nastavena na hodnotu 24 V. Vzdálenost všech těles od středu kolejnice byla jednotně upravena na 45 mm.

Výsledky zkoušky ukázaly, že aplikace rozdílného napětí vedla k dílčímu zlepšení teplotního rozložení, zejména v oblasti paty kolejnice. Zároveň se mírně snížila teplota v centrální části kolejnice, což souvisí s oddálením těles, a přispělo ke zmírnění přehřívání, které bylo zaznamenáno při předchozí konfiguraci.

Zkouška potvrdila vhodnost kombinace polohové úpravy a napěťové regulace jako prostředku ke zvýšení rovnoměrnosti ohřevu. Výsledky však zároveň naznačují, že pro dosažení lepšího teplotního vyvážení bude nutné dále ladit jednotlivé parametry, zejména přesnější rozložení výkonu a další úpravu vzdáleností těles.

### **Příloha 33. Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond**

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 5
Datum zkoušky:	5.3.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Soustava teplotních sond DS18B20 Experimentální kolejnice Topná tělesa 1000 W (6 ks) Regulátory napětí (3 ks)	
3) Cíle zkoušky	
Cílem této zkoušky ohřevu bylo ověření optimalizace polohy topných těles. Konkrétně jejich oddálení od středu Ek na hodnotu 85–90 mm. Dalším cílem je ověření zlepšení rovnoměrnosti ohřevu při různém nastavení napětí na regulátorech pro horní a boční topná tělesa. Konkrétně boční 49 V a horní 28 V.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Příprava experimentální kolejnice.</li> <li>2) Příprava a instalace všech dvojic topných těles pomocí elektricky izolovaného uchycení.</li> <li>3) Úprava umístění topných těles na vzdálenost 85–90 mm od středu Ek.</li> <li>4) Zapojení elektrického obvodu topných těles.</li> <li>5) Instalace soustavy teplotních sond DS18B20</li> <li>6) Instalace regulátorů napětí a nastavení napětí na 49 V boční topná tělesa a 28 V horní topná tělesa.</li> <li>7) Příprava bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 pro kontrolní měření.</li> <li>8) Zapojení ohřevné soustavy do elektrické sítě, zapnutí kontinuálního záznamu teploty v softwaru soustavy teplotních sond, zahájení ohřevu</li> <li>9) Vypojení soustavy ohřevu z elektrické sítě, zastavení záznamu teploty teplotních sond, ukončení zkoušky ohřevu.</li> </ol>	

### Příloha 33.1. Zdrojová data

Z důvodu agregace velkého množství naměřených dat ze soustavy teplotních sond jsou zde prezentována a vyhodnocována data vždy s krokem po deseti minutách.

ID	Název	Poloha
28D4E7D509000083	temp0	Hlava kolejnice shora uprostřed
2809CAD509000019	temp1	Pata kolejnice vlevo
282D6CD409000053	temp2	Pata kolejnice uprostřed
28FD82D4090000EF	temp3	Hlava kolejnice shora vpravo
2857A6350A0000B9	temp4	Pata kolejnice vpravo
288F63D509000081	temp5	Hlava kolejnice z boku vlevo
289FF2D5090000A0	temp6	Hlava kolejnice shora vlevo

Čas měření [s]	Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM: SS]	temp0 [°C]	temp1 [°C]	temp2 [°C]	temp3 [°C]	temp4 [°C]	temp5 [°C]	temp6 [°C]
0,7	05.03.2025 07:55	22,31	22,19	22,12	22,19	22,06	22,25	22,19
257,6	05.03.2025 08:00	22,44	22,44	22,25	22,44	22,31	22,5	22,37
857,7	05.03.2025 08:10	23,75	24,19	23,5	24,12	23,94	24,44	24,12
1457,8	05.03.2025 08:20	25,44	26,12	25,25	26	25,81	26,75	25,94
2057,9	05.03.2025 08:30	27,31	27,81	27	27,69	27,5	28,75	27,69
2657,9	05.03.2025 08:40	29,06	29,25	28,62	29,19	28,94	30,5	29,19
3257,9	05.03.2025 08:50	30,62	30,56	30,19	30,44	30,12	32,13	30,5
3857,9	05.03.2025 09:00	32	31,69	31,5	31,62	31,25	33,56	31,62
4457,8	05.03.2025 09:10	33,31	32,63	32,75	32,63	32,19	34,81	32,69
5057,8	05.03.2025 09:20	34,56	33,56	33,88	33,56	33,06	35,94	33,56
5657,7	05.03.2025 09:30	35,56	34,38	34,88	34,44	33,88	36,94	34,44
6257,6	05.03.2025 09:40	36,56	35,13	35,75	35,19	34,56	37,88	35,25
6857,4	05.03.2025 09:50	37,38	35,75	36,5	35,88	35,19	38,69	35,94
7457,3	05.03.2025 10:00	38,13	36,38	37,25	36,5	35,75	39,44	36,5
8057,2	05.03.2025 10:10	38,69	36,81	37,81	37	36,25	40	37,06
8659,7	05.03.2025 10:20	39,31	37,25	38,31	37,44	36,63	40,56	37,56
9259,6	05.03.2025 10:30	39,75	37,69	38,75	37,88	37	41,06	37,94
9859,4	05.03.2025 10:40	40,19	38,06	39,13	38,19	37,38	41,44	38,31
10459,2	05.03.2025 10:50	40,63	38,38	39,56	38,56	37,69	41,88	38,69
11059	05.03.2025 11:00	41	38,69	39,88	38,94	38	42,25	39
11658,9	05.03.2025 11:10	41,25	38,94	40,19	39,19	38,25	42,5	39,31
12258,7	05.03.2025 11:20	41,56	39,19	40,44	39,38	38,44	42,75	39,56
12858,5	05.03.2025 11:30	41,81	39,5	40,69	39,69	38,69	43,13	39,81
13458,3	05.03.2025 11:40	42,13	39,69	41	39,94	39	43,38	40,06
14058,1	05.03.2025 11:50	42,31	40	41,25	40,19	39,19	43,69	40,31
14657,9	05.03.2025 12:00	42,5	40,06	41,38	40,44	39,38	43,81	40,44
15257,8	05.03.2025 12:10	42,63	40,13	41,44	40,44	39,44	43,88	40,5
15857,6	05.03.2025 12:20	42,75	40,19	41,56	40,5	39,5	43,94	40,56
16457,3	05.03.2025 12:30	42,81	40,25	41,63	40,63	39,63	44	40,63

## Příloha 33.2. Výpočty a zpracování dat

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM: SS]	Průměrná teplota kolejnice [°C]	Odchylka temp0 [°C]	Odchylka temp1 [°C]	Čas měření [HH:MM: SS]
05.03.2025 7:55	22,19	0,12	0,00	0:00:00
05.03.2025 8:00	22,39	0,05	0,05	0:04:17
05.03.2025 8:10	24,01	- 0,26	0,18	0:14:17
05.03.2025 8:20	25,90	- 0,46	0,22	0:24:17
05.03.2025 8:30	27,68	- 0,37	0,13	0:34:17
05.03.2025 8:40	29,25	- 0,19	0,00	0:44:17
05.03.2025 8:50	30,65	- 0,03	- 0,09	0:54:17
05.03.2025 9:00	31,89	0,11	- 0,20	1:04:17
05.03.2025 9:10	33,00	0,31	- 0,37	1:14:17
05.03.2025 9:20	34,02	0,54	- 0,46	1:24:17
05.03.2025 9:30	34,93	0,63	- 0,55	1:34:17
05.03.2025 9:40	35,76	0,80	- 0,63	1:44:17
05.03.2025 9:50	36,48	0,90	- 0,73	1:54:17
05.03.2025 10:00	37,14	0,99	- 0,76	2:04:17
05.03.2025 10:10	37,66	1,03	- 0,85	2:14:17
05.03.2025 10:20	38,15	1,16	- 0,90	2:24:19
05.03.2025 10:30	38,58	1,17	- 0,89	2:34:19
05.03.2025 10:40	38,96	1,23	- 0,90	2:44:19
05.03.2025 10:50	39,34	1,29	- 0,96	2:54:19
05.03.2025 11:00	39,68	1,32	- 0,99	3:04:18
05.03.2025 11:10	39,95	1,30	- 1,01	3:14:18
05.03.2025 11:20	40,19	1,37	- 1,00	3:24:18
05.03.2025 11:30	40,47	1,34	- 0,97	3:34:18
05.03.2025 11:40	40,74	1,39	- 1,05	3:44:18
05.03.2025 11:50	40,99	1,32	- 0,99	3:54:18
05.03.2025 12:00	41,14	1,36	- 1,08	4:04:17
05.03.2025 12:10	41,21	1,42	- 1,08	4:14:17
05.03.2025 12:20	41,29	1,46	- 1,10	4:24:17
05.03.2025 12:30	41,37	1,44	- 1,12	4:34:17

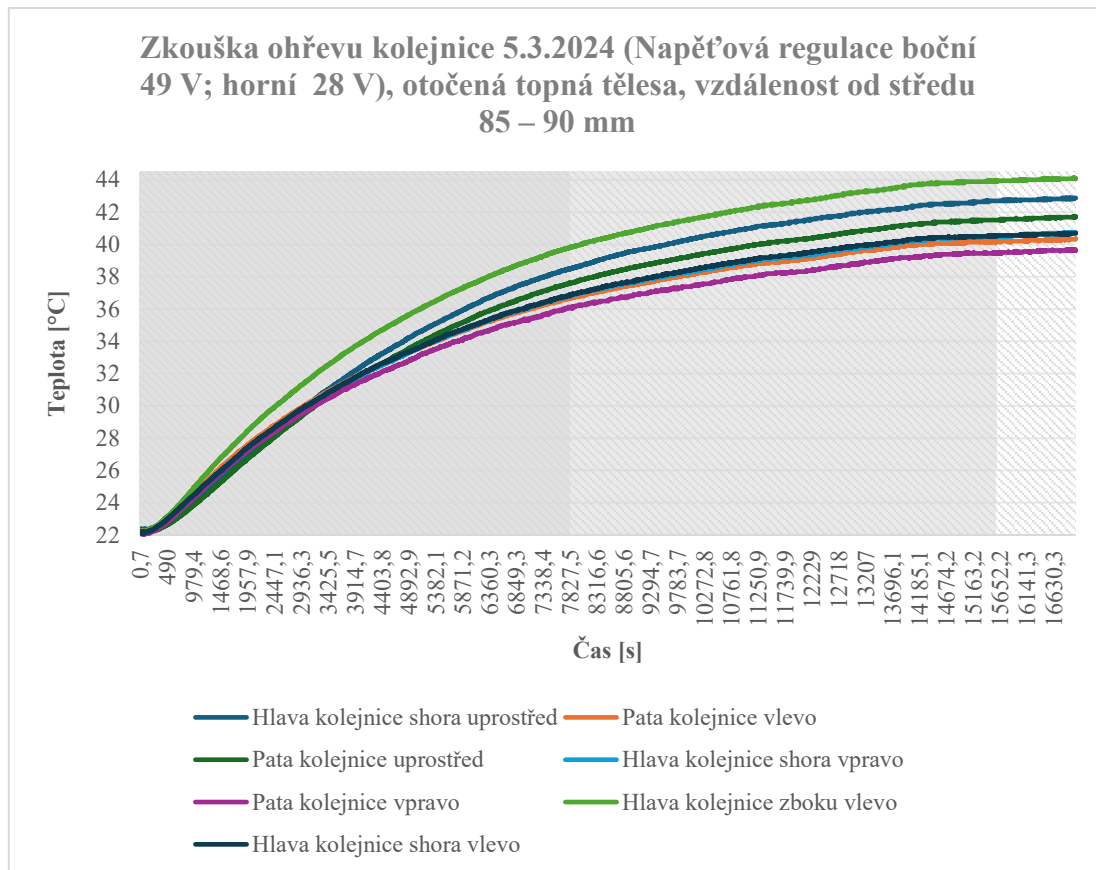
Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM: SS]	Odchylka temp2 [°C]	Odchylka temp3 [°C]	Odchylka temp4 [°C]	Čas měření [HH:MM: SS]
05.03.2025 7:55	- 0,07	0,00	- 0,13	0:00:00
05.03.2025 8:00	- 0,14	0,05	- 0,08	0:04:17
05.03.2025 8:10	- 0,51	0,11	- 0,07	0:14:17
05.03.2025 8:20	- 0,65	0,10	- 0,09	0:24:17
05.03.2025 8:30	- 0,68	0,01	- 0,18	0:34:17
05.03.2025 8:40	- 0,63	- 0,06	- 0,31	0:44:17
05.03.2025 8:50	- 0,46	- 0,21	- 0,53	0:54:17
05.03.2025 9:00	- 0,39	- 0,27	- 0,64	1:04:17
05.03.2025 9:10	- 0,25	- 0,37	- 0,81	1:14:17
05.03.2025 9:20	- 0,14	- 0,46	- 0,96	1:24:17
05.03.2025 9:30	- 0,05	- 0,49	- 1,05	1:34:17
05.03.2025 9:40	- 0,01	- 0,57	- 1,20	1:44:17
05.03.2025 9:50	0,02	- 0,60	- 1,29	1:54:17
05.03.2025 10:00	0,11	- 0,64	- 1,39	2:04:17
05.03.2025 10:10	0,15	- 0,66	- 1,41	2:14:17
05.03.2025 10:20	0,16	- 0,71	- 1,52	2:24:19
05.03.2025 10:30	0,17	- 0,70	- 1,58	2:34:19
05.03.2025 10:40	0,17	- 0,77	- 1,58	2:44:19
05.03.2025 10:50	0,22	- 0,78	- 1,65	2:54:19
05.03.2025 11:00	0,20	- 0,74	- 1,68	3:04:18
05.03.2025 11:10	0,24	- 0,76	- 1,70	3:14:18
05.03.2025 11:20	0,25	- 0,81	- 1,75	3:24:18
05.03.2025 11:30	0,22	- 0,78	- 1,78	3:34:18
05.03.2025 11:40	0,26	- 0,80	- 1,74	3:44:18
05.03.2025 11:50	0,26	- 0,80	- 1,80	3:54:18
05.03.2025 12:00	0,24	- 0,70	- 1,76	4:04:17
05.03.2025 12:10	0,23	- 0,77	- 1,77	4:14:17
05.03.2025 12:20	0,27	- 0,79	- 1,79	4:24:17
05.03.2025 12:30	0,26	- 0,74	- 1,74	4:34:17

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM: SS]	Odchylka temp5 [°C]	Odchylka temp6 [°C]	Maximální odchylka [°C]	Minimální odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM: SS]
05.03.2025 7:55	0,06	0,00	0,12	- 0,13	0:00:00
05.03.2025 8:00	0,11	- 0,02	0,11	- 0,14	0:04:17
05.03.2025 8:10	0,43	0,11	0,43	- 0,51	0:14:17
05.03.2025 8:20	0,85	0,04	0,85	- 0,65	0:24:17
05.03.2025 8:30	1,07	0,01	1,07	- 0,68	0:34:17
05.03.2025 8:40	1,25	- 0,06	1,25	- 0,63	0:44:17
05.03.2025 8:50	1,48	- 0,15	1,48	- 0,53	0:54:17
05.03.2025 9:00	1,67	- 0,27	1,67	- 0,64	1:04:17
05.03.2025 9:10	1,81	- 0,31	1,81	- 0,81	1:14:17
05.03.2025 9:20	1,92	- 0,46	1,92	- 0,96	1:24:17
05.03.2025 9:30	2,01	- 0,49	2,01	- 1,05	1:34:17
05.03.2025 9:40	2,12	- 0,51	2,12	- 1,20	1:44:17
05.03.2025 9:50	2,21	- 0,54	2,21	- 1,29	1:54:17
05.03.2025 10:00	2,30	- 0,64	2,30	- 1,39	2:04:17
05.03.2025 10:10	2,34	- 0,60	2,34	- 1,41	2:14:17
05.03.2025 10:20	2,41	- 0,59	2,41	- 1,52	2:24:19
05.03.2025 10:30	2,48	- 0,64	2,48	- 1,58	2:34:19
05.03.2025 10:40	2,48	- 0,65	2,48	- 1,58	2:44:19
05.03.2025 10:50	2,54	- 0,65	2,54	- 1,65	2:54:19
05.03.2025 11:00	2,57	- 0,68	2,57	- 1,68	3:04:18
05.03.2025 11:10	2,55	- 0,64	2,55	- 1,70	3:14:18
05.03.2025 11:20	2,56	- 0,63	2,56	- 1,75	3:24:18
05.03.2025 11:30	2,66	- 0,66	2,66	- 1,78	3:34:18
05.03.2025 11:40	2,64	- 0,68	2,64	- 1,74	3:44:18
05.03.2025 11:50	2,70	- 0,68	2,70	- 1,80	3:54:18
05.03.2025 12:00	2,67	- 0,70	2,67	- 1,76	4:04:17
05.03.2025 12:10	2,67	- 0,71	2,67	- 1,77	4:14:17
05.03.2025 12:20	2,65	- 0,73	2,65	- 1,79	4:24:17
05.03.2025 12:30	2,63	- 0,74	2,63	- 1,74	4:34:17

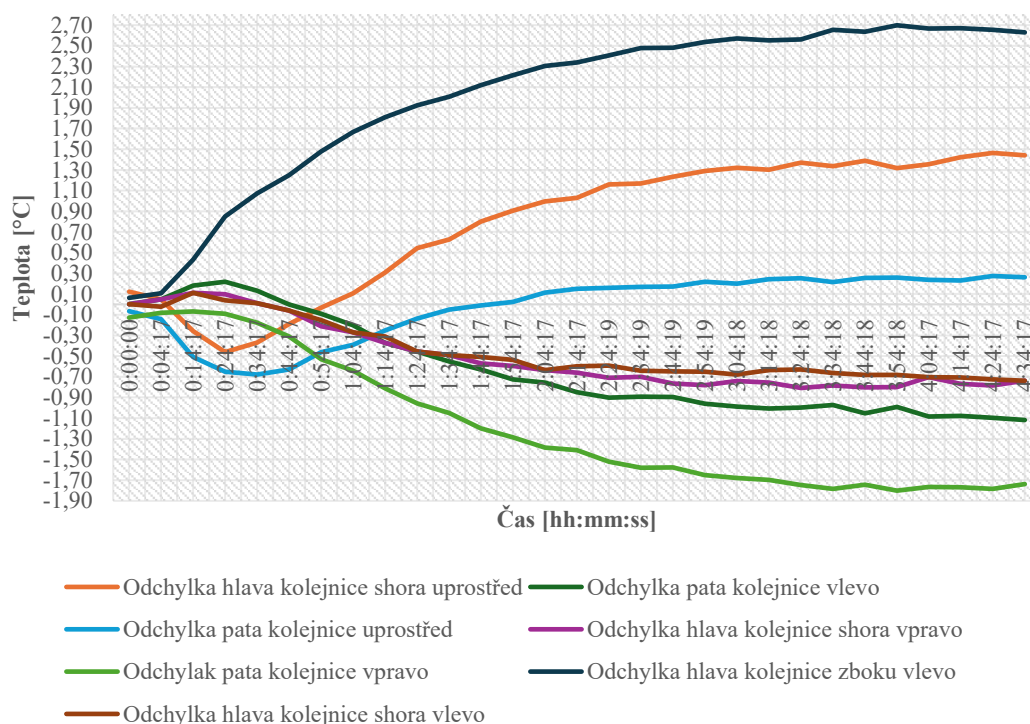
Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM: SS]	Rozpětí odchylek [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Variační koeficient [%]	Mediánová odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM: SS]
05.03.2025 7:55	0,25	0,081	0,37	0,06	0:00:00
05.03.2025 8:00	0,25	0,088	0,39	0,06	0:04:17
05.03.2025 8:10	0,94	0,309	1,29	0,18	0:14:17
05.03.2025 8:20	1,50	0,487	1,88	0,18	0:24:17
05.03.2025 8:30	1,75	0,547	1,98	0,19	0:34:17
05.03.2025 8:40	1,88	0,591	2,02	0,13	0:44:17
05.03.2025 8:50	2,01	0,678	2,21	0,12	0:54:17
05.03.2025 9:00	2,31	0,769	2,41	0,12	1:04:17
05.03.2025 9:10	2,62	0,862	2,61	0,06	1:14:17
05.03.2025 9:20	2,88	0,962	2,83	0,32	1:24:17
05.03.2025 9:30	3,06	1,027	2,94	0,44	1:34:17
05.03.2025 9:40	3,32	1,122	3,14	0,50	1:44:17
05.03.2025 9:50	3,50	1,193	3,27	0,56	1:54:17
05.03.2025 10:00	3,69	1,266	3,41	0,75	2:04:17
05.03.2025 10:10	3,75	1,295	3,44	0,75	2:14:17
05.03.2025 10:20	3,93	1,363	3,57	0,75	2:24:19
05.03.2025 10:30	4,06	1,399	3,63	0,81	2:34:19
05.03.2025 10:40	4,06	1,415	3,63	0,82	2:44:19
05.03.2025 10:50	4,19	1,463	3,72	0,87	2:54:19
05.03.2025 11:00	4,25	1,483	3,74	0,88	3:04:18
05.03.2025 11:10	4,25	1,480	3,71	0,88	3:14:18
05.03.2025 11:20	4,31	1,506	3,75	0,88	3:24:18
05.03.2025 11:30	4,44	1,531	3,78	0,88	3:34:18
05.03.2025 11:40	4,38	1,538	3,78	0,94	3:44:18
05.03.2025 11:50	4,50	1,550	3,78	0,94	3:54:18
05.03.2025 12:00	4,43	1,543	3,75	0,94	4:04:17
05.03.2025 12:10	4,44	1,560	3,78	0,94	4:14:17
05.03.2025 12:20	4,44	1,570	3,80	1,00	4:24:17
05.03.2025 12:30	4,37	1,551	3,75	1,00	4:34:17

Průměrné rozpětí odchylek [°C]:	3,233
Průměrná směrodatná odchylka [°C]:	1,111
Průměrný variační koeficient [%]:	2,978
Median medianových odchylek [°C]:	0,750

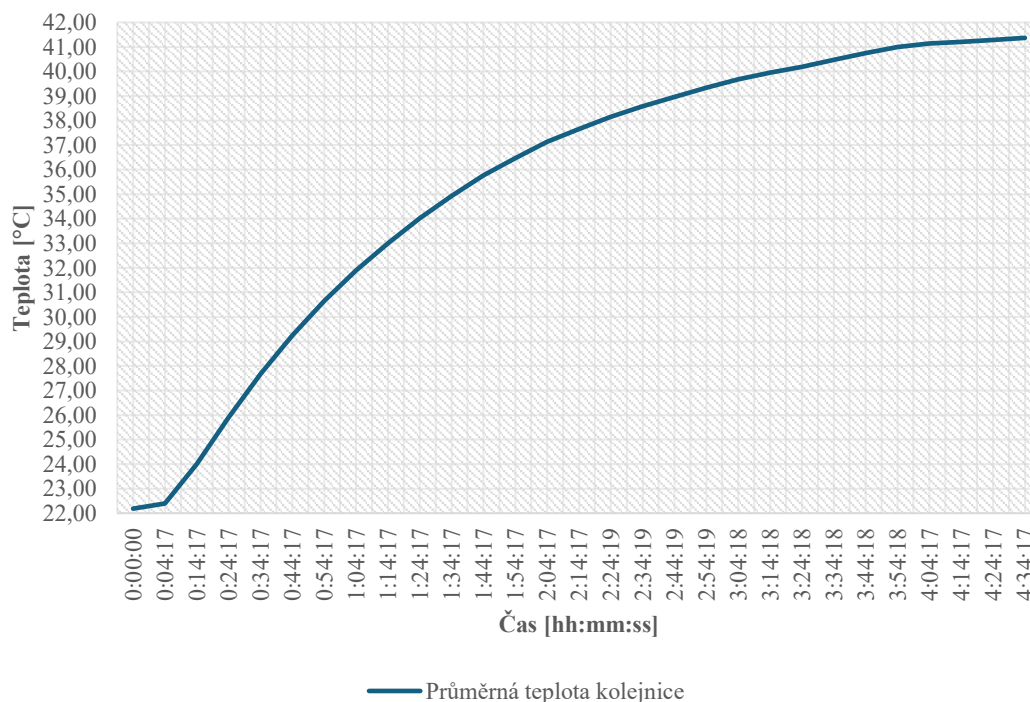
### Příloha 33.3. Grafy



**Zkouška ohřevu kolejnice 5.3.2024 (Napět'ová regulace boční 49 V; horní 28 V), otočená tělesa, vzdálenost od středu 85 – 90 mm**



**Zkouška ohřevu kolejnice 5.3.2024 (Napět'ová regulace boční 49 V; horní 28 V), otočená tělesa, vzdálenost od středu 85 – 90 mm**



### **Příloha 33.4. Závěr**

Tato zkouška navazovala na předchozí experimenty a jejím cílem bylo dále ověřit vliv prostorového rozmístění topných těles na rovnoměrnost ohřevu experimentální kolejnice. Oproti předchozí konfiguraci byla tělesa nově umístěna ve větší vzdálenosti od středu kolejnice, konkrétně na hodnotu 85–90 mm. V tomto uspořádání bylo zároveň aplikováno rozdílné napětí: boční topná tělesa byla napájena 49 V, zatímco horní tělesa byla nastavena na 28 V.

Z výsledků měření vyplývá, že provedené úpravy vedly k další stabilizaci teplotního profilu kolejnice. Docházelo ke zlepšení rozložení teploty v oblasti hlavy i paty kolejnice a zároveň se zmírnila dříve pozorovaná koncentrace tepla v jejím středu. Naměřené hodnoty rovněž ukazují na pozitivní vliv většího rozestupu těles, který umožňuje plynulejší šíření tepla v konstrukci kolejnice.

Zkouška tak potvrdila, že směrem k větším vzdálenostem těles od středu dochází k žádoucímu zlepšení rovnoměrnosti ohřevu. Výsledky zároveň poskytují důležitý základ pro jemnější doladění konečného rozmístění topných těles v dalších fázích testování.

## Příloha 34. Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 6

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 6
Datum zkoušky:	6.3.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Soustava teplotních sond DS18B20 Experimentální kolejnice Topná tělesa 1000 W (6 ks) Regulátory napětí (3 ks)	
3) Cíle zkoušky	
Cílem této zkoušky ohřevu bylo ověření optimalizace polohy topných těles. Konkrétně jejich oddálení od středu Ek na hodnotu 110 mm. Dalším cílem je ověření zlepšení rovnoměrnosti ohřevu při různém nastavení napětí na regulátorech pro horní a boční topná tělesa. Konkrétně boční 45 V a horní 25 V.	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Příprava experimentální kolejnice.</li> <li>2) Příprava a instalace všech dvojic topných těles pomocí elektricky izolovaného uchycení.</li> <li>3) Úprava umístění topných těles na vzdálenost 110 mm od středu Ek.</li> <li>4) Zapojení elektrického obvodu topných těles.</li> <li>5) Instalace soustavy teplotních sond DS18B20</li> <li>6) Instalace regulátorů napětí a nastavení napětí na 49 V boční topná tělesa a 28 V horní topná tělesa.</li> <li>7) Příprava bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 pro kontrolní měření.</li> <li>8) Zapojení ohřevné soustavy do elektrické sítě, zapnutí kontinuálního záznamu teploty v softwaru soustavy teplotních sond, zahájení ohřevu</li> <li>9) Vypojení soustavy ohřevu z elektrické sítě, zastavení záznamu teploty teplotních sond, ukončení zkoušky ohřevu.</li> </ol>	

### Příloha 34.1. Zdrojová data

Z důvodu agregace velkého množství naměřených dat ze soustavy teplotních sond jsou zde prezentována a vyhodnocována data vždy s krokem po deseti minutách.

ID	Název	Poloha
28D4E7D509000083	temp0	Hlava kolejnice shora uprostřed
2809CAD509000019	temp1	Pata kolejnice vlevo
282D6CD409000053	temp2	Pata kolejnice uprostřed
28FD82D4090000EF	temp3	Hlava kolejnice shora vpravo
2857A6350A0000B9	temp4	Pata kolejnice vpravo
288F63D509000081	temp5	Hlava kolejnice z boku vlevo
289FF2D5090000A0	temp6	Hlava kolejnice shora vlevo

Čas měření [s]	Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM: SS]	temp0 [°C]	temp1 [°C]	temp2 [°C]	temp3 [°C]	temp4 [°C]	temp5 [°C]	temp6 [°C]
0,7	06.03.2025 13:16	23,25	23,06	23	23,19	23,06	23,12	23,06
238,5	06.03.2025 13:20	23,31	23,19	23,12	23,31	23,19	23,25	23,19
838,7	06.03.2025 13:30	24	24,31	23,75	24,44	24,19	24,56	24,31
1438,8	06.03.2025 13:40	25,06	25,69	24,81	25,81	25,56	26,12	25,69
2038,9	06.03.2025 13:50	26,25	26,94	25,94	27	26,75	27,56	26,87
2639	06.03.2025 14:00	27,44	28,06	27,12	28,19	27,87	28,87	28
3239,1	06.03.2025 14:10	28,56	29,19	28,19	29,25	28,94	30,19	29,12
3839,1	06.03.2025 14:20	29,87	30,37	29,44	30,44	30,06	31,69	30,31
4439,1	06.03.2025 14:30	31,06	31,44	30,62	31,5	31,19	32,94	31,37
5039,1	06.03.2025 14:40	32,19	32,44	31,69	32,56	32,13	34,13	32,44
5639	06.03.2025 14:50	33,25	33,25	32,69	33,38	32,94	35,13	33,25
6239	06.03.2025 15:00	34,19	34	33,56	34,25	33,69	36,06	34,06
6838,9	06.03.2025 15:10	35,06	34,69	34,44	35,06	34,38	36,88	34,81
7438,8	06.03.2025 15:20	35,81	35,31	35,13	35,69	35,06	37,63	35,44
8038,7	06.03.2025 15:30	36,5	35,88	35,81	36,31	35,56	38,31	36
8638,6	06.03.2025 15:40	37,19	36,38	36,38	36,88	36,06	38,94	36,5
9238,5	06.03.2025 15:50	37,81	36,88	36,88	37,38	36,5	39,56	37,13
9838,4	06.03.2025 16:00	38,25	37,19	37,38	37,81	36,88	39,94	37,44
10438,3	06.03.2025 16:10	38,56	37,31	37,56	37,94	36,94	40,13	37,63
11038,1	06.03.2025 16:20	38,81	37,44	37,75	38,06	37,06	40,31	37,75
11638	06.03.2025 16:30	38,94	37,5	37,94	38,13	37,19	40,44	37,81

## Příloha 34.2. Výpočty a zpracování dat

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Průměrná teplota kolejnice [°C]	Odchylka temp0 [°C]	Odchylka temp1 [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
06.03.2025 13:16	23,11	0,14	- 0,05	0:00:00
06.03.2025 13:20	23,22	0,09	- 0,03	0:03:57
06.03.2025 13:30	24,22	- 0,22	0,09	0:13:58
06.03.2025 13:40	25,53	- 0,47	0,16	0:23:58
06.03.2025 13:50	26,76	- 0,51	0,18	0:33:58
06.03.2025 14:00	27,94	- 0,50	0,12	0:43:58
06.03.2025 14:10	29,06	- 0,50	0,13	0:53:58
06.03.2025 14:20	30,31	- 0,44	0,06	1:03:58
06.03.2025 14:30	31,45	- 0,39	- 0,01	1:13:58
06.03.2025 14:40	32,51	- 0,32	- 0,07	1:23:58
06.03.2025 14:50	33,41	- 0,16	- 0,16	1:33:58
06.03.2025 15:00	34,26	- 0,07	- 0,26	1:43:58
06.03.2025 15:10	35,05	0,01	- 0,36	1:53:58
06.03.2025 15:20	35,72	0,09	- 0,41	2:03:58
06.03.2025 15:30	36,34	0,16	- 0,46	2:13:58
06.03.2025 15:40	36,90	0,29	- 0,52	2:23:57
06.03.2025 15:50	37,45	0,36	- 0,57	2:33:57
06.03.2025 16:00	37,84	0,41	- 0,65	2:43:57
06.03.2025 16:10	38,01	0,55	- 0,70	2:53:57
06.03.2025 16:20	38,17	0,64	- 0,73	3:03:57
06.03.2025 16:30	38,28	0,66	- 0,78	3:13:57

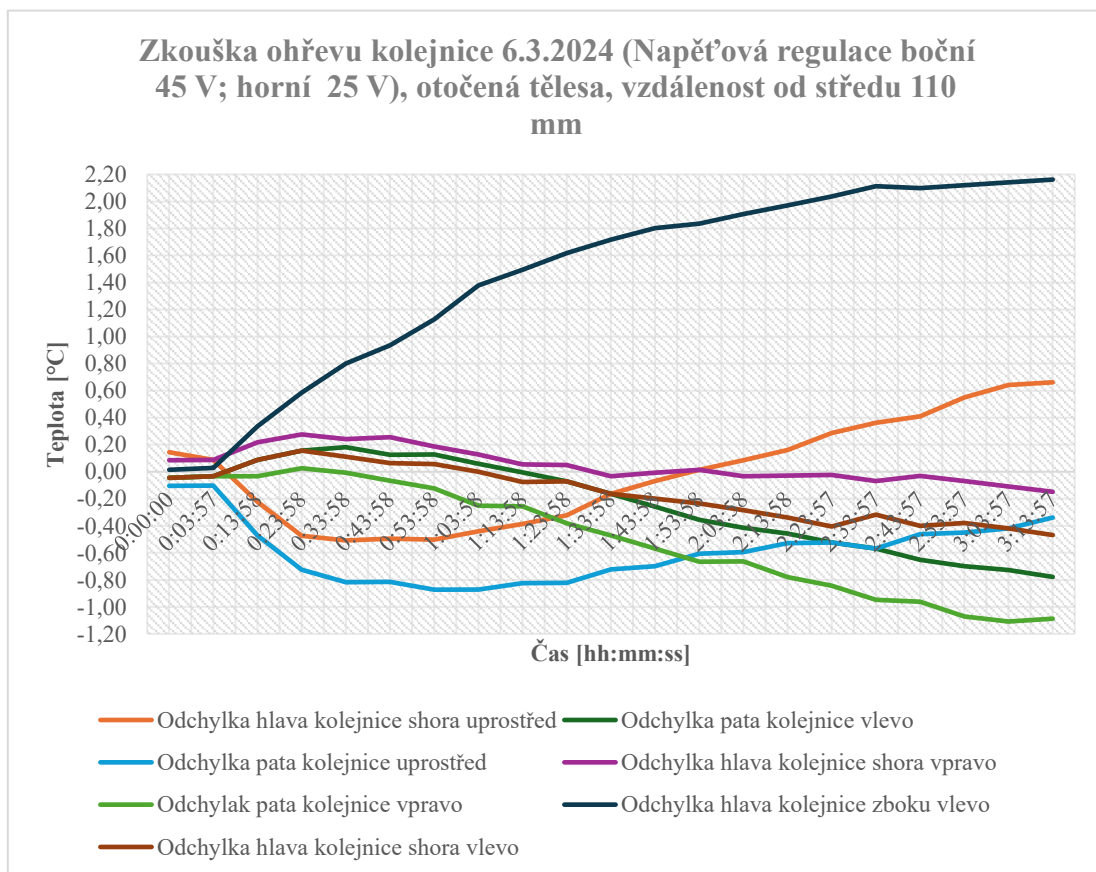
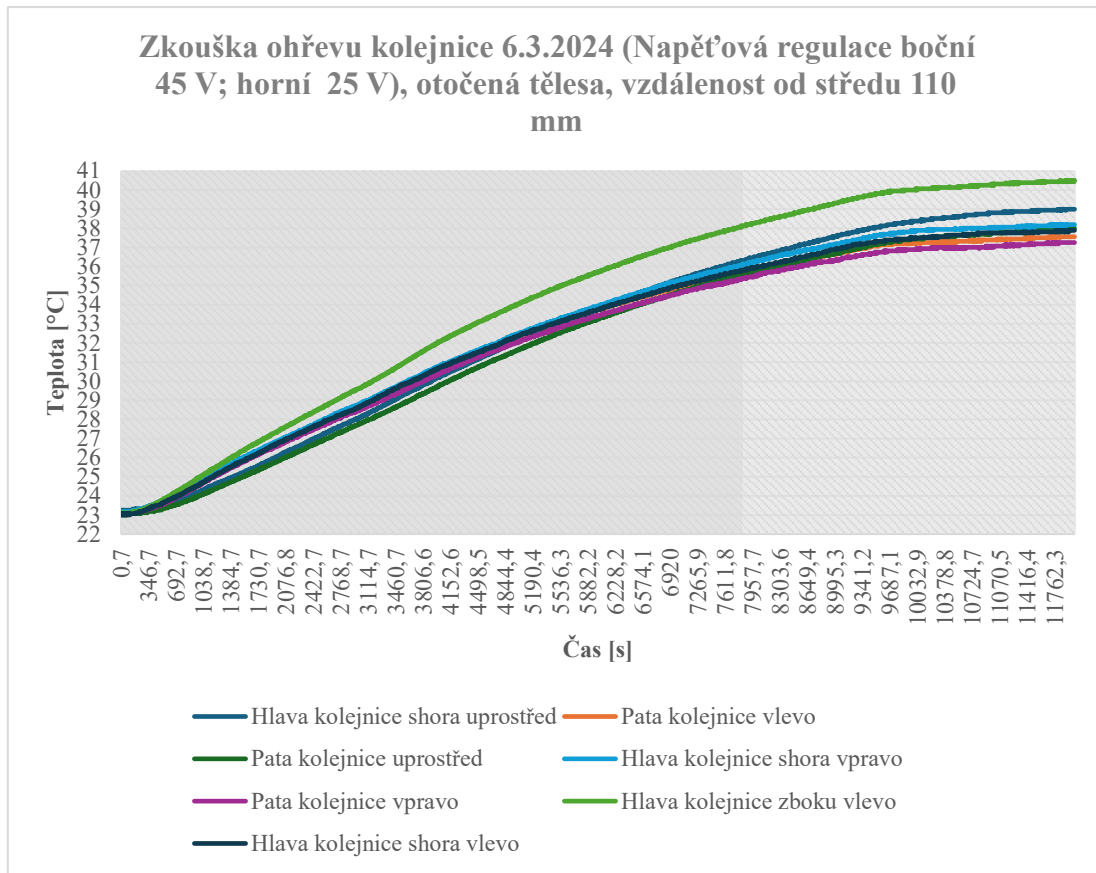
Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Odchylka temp2 [°C]	Odchylka temp3 [°C]	Odchylka temp4 [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
06.03.2025 13:16	- 0,11	0,08	- 0,05	0:00:00
06.03.2025 13:20	- 0,10	0,09	- 0,03	0:03:57
06.03.2025 13:30	- 0,47	0,22	- 0,03	0:13:58
06.03.2025 13:40	- 0,72	0,28	0,03	0:23:58
06.03.2025 13:50	- 0,82	0,24	- 0,01	0:33:58
06.03.2025 14:00	- 0,82	0,25	- 0,07	0:43:58
06.03.2025 14:10	- 0,87	0,19	- 0,12	0:53:58
06.03.2025 14:20	- 0,87	0,13	- 0,25	1:03:58
06.03.2025 14:30	- 0,83	0,05	- 0,26	1:13:58
06.03.2025 14:40	- 0,82	0,05	- 0,38	1:23:58
06.03.2025 14:50	- 0,72	- 0,03	- 0,47	1:33:58
06.03.2025 15:00	- 0,70	- 0,01	- 0,57	1:43:58
06.03.2025 15:10	- 0,61	0,01	- 0,67	1:53:58
06.03.2025 15:20	- 0,59	- 0,03	- 0,66	2:03:58
06.03.2025 15:30	- 0,53	- 0,03	- 0,78	2:13:58
06.03.2025 15:40	- 0,52	- 0,02	- 0,84	2:23:57
06.03.2025 15:50	- 0,57	- 0,07	- 0,95	2:33:57
06.03.2025 16:00	- 0,46	- 0,03	- 0,96	2:43:57
06.03.2025 16:10	- 0,45	- 0,07	- 1,07	2:53:57
06.03.2025 16:20	- 0,42	- 0,11	- 1,11	3:03:57
06.03.2025 16:30	- 0,34	- 0,15	- 1,09	3:13:57

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Odchylka temp5 [°C]	Odchylka temp6 [°C]	Maximální odchylka [°C]	Minimální odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
06.03.2025 13:16	0,01	- 0,05	0,14	- 0,11	0:00:00
06.03.2025 13:20	0,03	- 0,03	0,09	- 0,10	0:03:57
06.03.2025 13:30	0,34	0,09	0,34	- 0,47	0:13:58
06.03.2025 13:40	0,59	0,16	0,59	- 0,72	0:23:58
06.03.2025 13:50	0,80	0,11	0,80	- 0,82	0:33:58
06.03.2025 14:00	0,93	0,06	0,93	- 0,82	0:43:58
06.03.2025 14:10	1,13	0,06	1,13	- 0,87	0:53:58
06.03.2025 14:20	1,38	0,00	1,38	- 0,87	1:03:58
06.03.2025 14:30	1,49	- 0,08	1,49	- 0,83	1:13:58
06.03.2025 14:40	1,62	- 0,07	1,62	- 0,82	1:23:58
06.03.2025 14:50	1,72	- 0,16	1,72	- 0,72	1:33:58
06.03.2025 15:00	1,80	- 0,20	1,80	- 0,70	1:43:58
06.03.2025 15:10	1,83	- 0,24	1,83	- 0,67	1:53:58
06.03.2025 15:20	1,91	- 0,28	1,91	- 0,66	2:03:58
06.03.2025 15:30	1,97	- 0,34	1,97	- 0,78	2:13:58
06.03.2025 15:40	2,04	- 0,40	2,04	- 0,84	2:23:57
06.03.2025 15:50	2,11	- 0,32	2,11	- 0,95	2:33:57
06.03.2025 16:00	2,10	- 0,40	2,10	- 0,96	2:43:57
06.03.2025 16:10	2,12	- 0,38	2,12	- 1,07	2:53:57
06.03.2025 16:20	2,14	- 0,42	2,14	- 1,11	3:03:57
06.03.2025 16:30	2,16	- 0,47	2,16	- 1,09	3:13:57

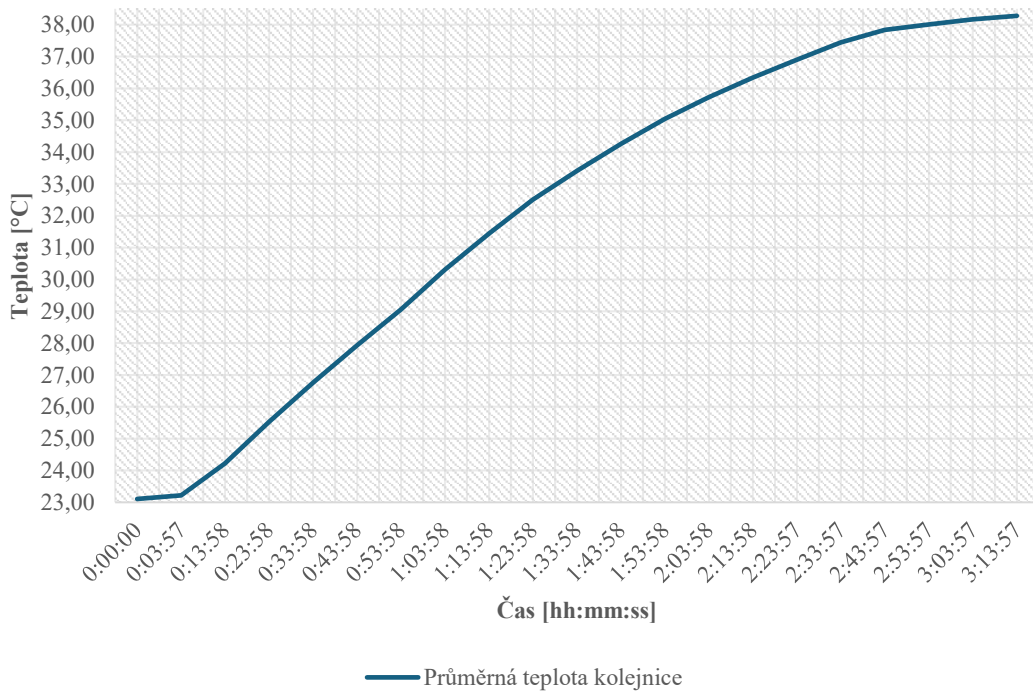
Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Rozpětí odchylek [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Variační koeficient [%]	Mediánová odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
06.03.2025 13:16	0,25	0,087	0,38	0,06	0:00:00
06.03.2025 13:20	0,19	0,070	0,30	0,06	0:03:57
06.03.2025 13:30	0,81	0,274	1,13	0,13	0:13:58
06.03.2025 13:40	1,31	0,451	1,76	0,13	0:23:58
06.03.2025 13:50	1,62	0,528	1,97	0,13	0:33:58
06.03.2025 14:00	1,75	0,559	2,00	0,19	0:43:58
06.03.2025 14:10	2,00	0,626	2,16	0,18	0:53:58
06.03.2025 14:20	2,25	0,700	2,31	0,25	1:03:58
06.03.2025 14:30	2,32	0,723	2,30	0,18	1:13:58
06.03.2025 14:40	2,44	0,770	2,37	0,25	1:23:58
06.03.2025 14:50	2,44	0,793	2,37	0,13	1:33:58
06.03.2025 15:00	2,50	0,833	2,43	0,19	1:43:58
06.03.2025 15:10	2,50	0,852	2,43	0,25	1:53:58
06.03.2025 15:20	2,57	0,884	2,47	0,31	2:03:58
06.03.2025 15:30	2,75	0,924	2,54	0,31	2:13:58
06.03.2025 15:40	2,88	0,971	2,63	0,38	2:23:57
06.03.2025 15:50	3,06	1,020	2,72	0,25	2:33:57
06.03.2025 16:00	3,06	1,024	2,71	0,37	2:43:57
06.03.2025 16:10	3,19	1,063	2,80	0,32	2:53:57
06.03.2025 16:20	3,25	1,089	2,85	0,31	3:03:57
06.03.2025 16:30	3,25	1,100	2,87	0,44	3:13:57

Průměrné rozpětí odchylek [°C]:	2,209
Průměrná směrodatná odchylka [°C]:	0,731
Průměrný variační koeficient [%]:	2,168
Median medianových odchylek [°C]:	0,250

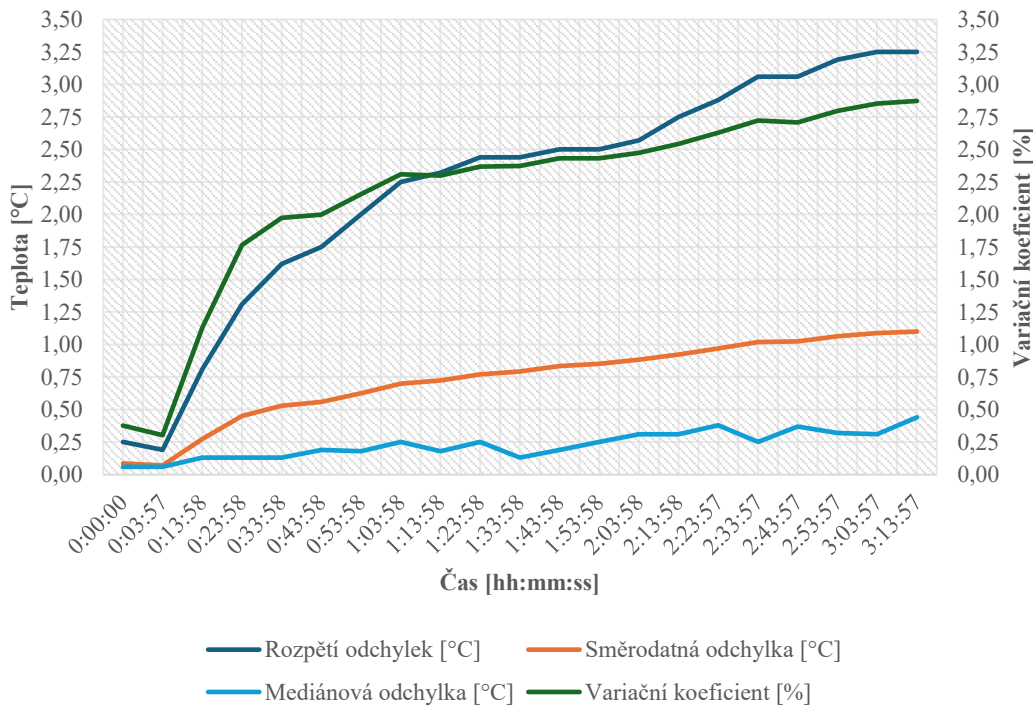
### Příloha 34.3. Grafy



**Zkouška ohřevu kolejnice 6.3.2024 (Napět'ová regulace boční 45 V; horní 25 V), otočená tělesa, vzdálenost od středu 110 mm**



**Zkouška ohřevu kolejnice 6.3.2024 (Napět'ová regulace boční 45 V; horní 25 V), otočená tělesa, vzdálenost od středu 110 mm**



## **Příloha 34.4. Závěr**

Cílem této zkoušky bylo prověřit vliv dalšího oddálení topných těles od středu kolejnice, tentokrát na vzdálenost 110 mm, na rovnoměrnost teplotního pole. Pro napájení byla zvolena hodnota 42 V, která byla nastavena na všech třech regulátorech napětí. Konfigurace navazovala na předchozí úpravy, které postupně směřovaly ke zlepšení rozložení teploty po celé délce kolejnice.

Výsledky potvrdily, že toto uspořádání přineslo dosud nejvyrovnanější průběh ohřevu. Statistická analýza vykazala průměrné rozpětí odchylek 2,209 °C, průměrnou směrodatnou odchylku 0,731 °C, variační koeficient 2,168 % a mediánovou odchylku 0,250 °C. Tyto hodnoty představují nejlepší výsledek v rámci celého souboru dosavadních měření.

Na základě dosažené rovnoměrnosti teplotního pole lze tuto konfiguraci považovat za dostatečně optimalizovanou. Vzhledem k výsledkům se v dalším testování již neuvažuje o dalším zlepšování tohoto typu uspořádání.

## Příloha 35. Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 7

1) Identifikační údaje	
Název zkoušky:	Zkouška ohřevu Ek s regulátory napětí – záznam teploty soustavou teplotních sond 7
Datum zkoušky:	7.3.2025
Vedoucí zkoušky:	Doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
Další zúčastnění:	Bc. Miloš Šula
Místo zkoušky:	Výukové a výzkumné centrum v dopravě (VVCD); Doubravice 41, 533 53, Pardubice
2) Použité materiály a vybavení	
Bezkontaktní laserový teploměr Fluke 574 Soustava teplotních sond DS18B20 Experimentální kolejnice Topná tělesa 1000 W (6 ks) Regulátory napětí (3 ks)	
3) Cíle zkoušky	
Cílem této zkoušky ohřevu bylo ověření chování ohřevu při zapnutých topných tělesech pouze z boku kolejnice. Nastavení napětí na regulátorech topných těles bylo 42 V	
4) Postup zkoušky	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Příprava experimentální kolejnice.</li> <li>2) Příprava a instalace všech dvojic topných těles pomocí elektricky izolovaného uchycení.</li> <li>3) Úprava umístění topných těles na vzdálenost 110 mm od středu Ek.</li> <li>4) Zapojení elektrického obvodu topných těles.</li> <li>5) Instalace soustavy teplotních sond DS18B20</li> <li>6) Instalace regulátorů napětí a nastavení napětí na 42 V boční topná tělesa.</li> <li>7) Příprava bezkontaktního laserového teploměru Fluke 574 pro kontrolní měření.</li> <li>8) Zapojení ohřevné soustavy do elektrické sítě, zapnutí kontinuálního záznamu teploty v softwaru soustavy teplotních sond, zahájení ohřevu</li> <li>9) Vypojení soustavy ohřevu z elektrické sítě, zastavení záznamu teploty teplotních sond, ukončení zkoušky ohřevu.</li> </ol>	

### Příloha 35.1. Zdrojová data

Z důvodu agregace velkého množství naměřených dat ze soustavy teplotních sond jsou zde prezentována a vyhodnocována data vždy s krokem po deseti minutách.

ID	Název	Poloha
28D4E7D509000083	temp0	Hlava kolejnice shora uprostřed
2809CAD509000019	temp1	Pata kolejnice vlevo
282D6CD409000053	temp2	Pata kolejnice uprostřed
28FD82D4090000EF	temp3	Hlava kolejnice shora vpravo
2857A6350A0000B9	temp4	Pata kolejnice vpravo
288F63D509000081	temp5	Hlava kolejnice zboku vlevo
289FF2D5090000A0	temp6	Hlava kolejnice shora vlevo

Čas měření [s]	Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	temp0 [°C]	temp1 [°C]	temp2 [°C]	temp3 [°C]	temp4 [°C]	temp5 [°C]	temp6 [°C]
0,7	07.03.2025 07:09	23,12	23	22,94	22,94	22,87	23,06	22,94
650,5	07.03.2025 07:20	23,62	23,94	23,44	23,81	23,69	24	23,94
1251	07.03.2025 07:30	24,81	25,69	24,62	25,37	25,37	25,94	25,5
1851,3	07.03.2025 07:40	26,25	27,31	26,06	26,94	26,94	27,75	27,06
2451,1	07.03.2025 07:50	27,62	28,69	27,44	28,37	28,31	29,44	28,5
3049,1	07.03.2025 08:00	28,94	29,87	28,69	29,56	29,44	30,81	29,69
3649,2	07.03.2025 08:10	30,19	30,87	29,87	30,62	30,44	32,06	30,69
4251,2	07.03.2025 08:20	31,37	31,87	30,94	31,62	31,44	33,25	31,75
4850	07.03.2025 08:30	32,5	32,81	32	32,5	32,25	34,38	32,69
5449,8	07.03.2025 08:40	33,5	33,63	32,94	33,38	33,06	35,38	33,5
6050	07.03.2025 08:50	34,25	34,25	33,63	34	33,63	36,19	34,19
6649,5	07.03.2025 09:00	35,13	34,88	34,44	34,69	34,25	36,94	34,81
7251,1	07.03.2025 09:10	35,88	35,44	35,13	35,31	34,81	37,69	35,44
7851,1	07.03.2025 09:20	36,63	36,06	35,81	35,94	35,44	38,44	36,06
8449,4	07.03.2025 09:30	37,19	36,63	36,44	36,5	36	39,06	36,56
9051,4	07.03.2025 09:40	37,88	37,13	37	37,06	36,44	39,69	37,19
9650,4	07.03.2025 09:50	38,44	37,63	37,56	37,56	36,94	40,31	37,69
10251,3	07.03.2025 10:00	38,94	38,06	38	38	37,38	40,75	38,13
10849,3	07.03.2025 10:10	39,31	38,38	38,38	38,38	37,69	41,19	38,44
11450	07.03.2025 10:20	39,69	38,69	38,75	38,69	38,06	41,5	38,81
12049,7	07.03.2025 10:30	40,06	39	39,06	39,06	38,31	41,88	39,13
12651,3	07.03.2025 10:40	40,31	39,31	39,38	39,31	38,69	42,25	39,44
13251,3	07.03.2025 10:50	40,56	39,56	39,69	39,63	38,94	42,5	39,69
13849,9	07.03.2025 11:00	40,81	39,75	39,88	39,81	39,13	42,75	39,88
14450,5	07.03.2025 11:10	41,06	39,94	40,06	40,06	39,31	42,94	40,06
15051,6	07.03.2025 11:20	41,25	40,13	40,31	40,25	39,5	43,19	40,25
15651,5	07.03.2025 11:30	41,5	40,38	40,5	40,5	39,75	43,31	40,5
16249,6	07.03.2025 11:40	41,69	40,56	40,69	40,75	39,94	43,56	40,69
16850,1	07.03.2025 11:50	41,81	40,69	40,88	40,88	40,13	43,75	40,81
17449,5	07.03.2025 12:00	42	40,81	41,06	41,06	40,25	43,88	41

Čas měření [s]	Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	temp0 [°C]	temp1 [°C]	temp2 [°C]	temp3 [°C]	temp4 [°C]	temp5 [°C]	temp6 [°C]
18051,1	07.03.2025 12:10	42,13	40,94	41,13	41,13	40,31	44	41,06
18651,2	07.03.2025 12:20	42,25	41,06	41,25	41,31	40,5	44,19	41,25
19249,5	07.03.2025 12:30	42,38	41,19	41,38	41,44	40,63	44,31	41,38
19851,4	07.03.2025 12:40	42,5	41,31	41,5	41,5	40,75	44,44	41,44
20450,5	07.03.2025 12:50	42,56	41,38	41,63	41,56	40,81	44,5	41,5
21051,4	07.03.2025 13:00	42,69	41,5	41,69	41,63	40,88	44,56	41,56
21650,1	07.03.2025 13:10	42,75	41,56	41,75	41,75	40,94	44,63	41,63
22250,8	07.03.2025 13:20	42,81	41,56	41,81	41,81	41	44,69	41,69
22849,4	07.03.2025 13:30	42,94	41,69	41,88	41,94	41,13	44,75	41,81
23451,1	07.03.2025 13:40	43	41,81	42	42	41,25	44,88	41,94
24051,3	07.03.2025 13:50	43,06	41,94	42,13	42,06	41,38	45	42
24649,7	07.03.2025 14:00	43,13	41,88	42,13	42,06	41,31	45	42
25250,3	07.03.2025 14:10	43,06	41,69	42,06	42	41,13	44,88	41,88
25849,2	07.03.2025 14:20	42,94	41,5	41,94	41,81	41	44,69	41,69
26450,1	07.03.2025 14:30	42,81	41,38	41,81	41,63	40,88	44,5	41,56
27051,5	07.03.2025 14:40	42,69	41,31	41,69	41,56	40,75	44,38	41,44
27650,8	07.03.2025 14:50	42,63	41,19	41,63	41,56	40,75	44,31	41,38
28250,4	07.03.2025 15:00	42,56	41,19	41,63	41,56	40,75	44,25	41,38
28849	07.03.2025 15:10	42,56	41,19	41,56	41,5	40,75	44,19	41,38
29449,4	07.03.2025 15:20	42,5	41,13	41,56	41,5	40,75	44,19	41,31
30050,9	07.03.2025 15:30	42,5	41,13	41,56	41,5	40,75	44,19	41,38
30649,8	07.03.2025 15:40	42,5	41,13	41,5	41,5	40,69	44,19	41,38

## Příloha 35.2. Výpočty a zpracování dat

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM: SS]	Průměrná teplota kolejnice [°C]	Odchylka temp0 [°C]	Odchylka temp1 [°C]	Čas měření [HH:MM: SS]
07.03.2025 7:09	22,98	0,14	0,02	0:00:00
07.03.2025 7:20	23,78	- 0,16	0,16	0:10:50
07.03.2025 7:30	25,33	- 0,52	0,36	0:20:51
07.03.2025 7:40	26,90	- 0,65	0,41	0:30:51
07.03.2025 7:50	28,34	- 0,72	0,35	0:40:51
07.03.2025 8:00	29,57	- 0,63	0,30	0:50:49
07.03.2025 8:10	30,68	- 0,49	0,19	1:00:49
07.03.2025 8:20	31,75	- 0,38	0,12	1:10:51
07.03.2025 8:30	32,73	- 0,23	0,08	1:20:50
07.03.2025 8:40	33,63	- 0,13	0,00	1:30:49
07.03.2025 8:50	34,31	- 0,06	- 0,06	1:40:50
07.03.2025 9:00	35,02	0,11	- 0,14	1:50:49
07.03.2025 9:10	35,67	0,21	- 0,23	2:00:51
07.03.2025 9:20	36,34	0,29	- 0,28	2:10:51
07.03.2025 9:30	36,91	0,28	- 0,28	2:20:49
07.03.2025 9:40	37,48	0,40	- 0,35	2:30:51
07.03.2025 9:50	38,02	0,42	- 0,39	2:40:50
07.03.2025 10:00	38,47	0,47	- 0,41	2:50:51
07.03.2025 10:10	38,82	0,49	- 0,44	3:00:49
07.03.2025 10:20	39,17	0,52	- 0,48	3:10:50
07.03.2025 10:30	39,50	0,56	- 0,50	3:20:49
07.03.2025 10:40	39,81	0,50	- 0,50	3:30:51
07.03.2025 10:50	40,08	0,48	- 0,52	3:40:51
07.03.2025 11:00	40,29	0,52	- 0,54	3:50:49
07.03.2025 11:10	40,49	0,57	- 0,55	4:00:50
07.03.2025 11:20	40,70	0,55	- 0,57	4:10:51
07.03.2025 11:30	40,92	0,58	- 0,54	4:20:51
07.03.2025 11:40	41,13	0,56	- 0,57	4:30:49
07.03.2025 11:50	41,28	0,53	- 0,59	4:40:50

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM: SS]	Průměrná teplota kolejnice [°C]	Odchylka temp0 [°C]	Odchylka temp1 [°C]	Čas měření [HH:MM: SS]
07.03.2025 12:00	41,44	0,56	- 0,63	4:50:49
07.03.2025 12:10	41,53	0,60	- 0,59	5:00:51
07.03.2025 12:20	41,69	0,56	- 0,63	5:10:51
07.03.2025 12:30	41,82	0,56	- 0,63	5:20:49
07.03.2025 12:40	41,92	0,58	- 0,61	5:30:51
07.03.2025 12:50	41,99	0,57	- 0,61	5:40:50
07.03.2025 13:00	42,07	0,62	- 0,57	5:50:51
07.03.2025 13:10	42,14	0,61	- 0,58	6:00:50
07.03.2025 13:20	42,20	0,61	- 0,64	6:10:50
07.03.2025 13:30	42,31	0,63	- 0,62	6:20:49
07.03.2025 13:40	42,41	0,59	- 0,60	6:30:51
07.03.2025 13:50	42,51	0,55	- 0,57	6:40:51
07.03.2025 14:00	42,50	0,63	- 0,62	6:50:49
07.03.2025 14:10	42,39	0,67	- 0,70	7:00:50
07.03.2025 14:20	42,22	0,72	- 0,72	7:10:49
07.03.2025 14:30	42,08	0,73	- 0,70	7:20:50
07.03.2025 14:40	41,97	0,72	- 0,66	7:30:51
07.03.2025 14:50	41,92	0,71	- 0,73	7:40:50
07.03.2025 15:00	41,90	0,66	- 0,71	7:50:50
07.03.2025 15:10	41,88	0,68	- 0,69	8:00:49
07.03.2025 15:20	41,85	0,65	- 0,72	8:10:49
07.03.2025 15:30	41,86	0,64	- 0,73	8:20:50
07.03.2025 15:40	41,84	0,66	- 0,71	8:30:49

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Odchylka temp2 [°C]	Odchylka temp3 [°C]	Odchylka temp4 [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
07.03.2025 7:09	- 0,04	- 0,04	- 0,11	0:00:00
07.03.2025 7:20	- 0,34	0,03	- 0,09	0:10:50
07.03.2025 7:30	- 0,71	0,04	0,04	0:20:51
07.03.2025 7:40	- 0,84	0,04	0,04	0:30:51
07.03.2025 7:50	- 0,90	0,03	- 0,03	0:40:51
07.03.2025 8:00	- 0,88	- 0,01	- 0,13	0:50:49
07.03.2025 8:10	- 0,81	- 0,06	- 0,24	1:00:49
07.03.2025 8:20	- 0,81	- 0,13	- 0,31	1:10:51
07.03.2025 8:30	- 0,73	- 0,23	- 0,48	1:20:50
07.03.2025 8:40	- 0,69	- 0,25	- 0,57	1:30:49
07.03.2025 8:50	- 0,68	- 0,31	- 0,68	1:40:50
07.03.2025 9:00	- 0,58	- 0,33	- 0,77	1:50:49
07.03.2025 9:10	- 0,54	- 0,36	- 0,86	2:00:51
07.03.2025 9:20	- 0,53	- 0,40	- 0,90	2:10:51
07.03.2025 9:30	- 0,47	- 0,41	- 0,91	2:20:49
07.03.2025 9:40	- 0,48	- 0,42	- 1,04	2:30:51
07.03.2025 9:50	- 0,46	- 0,46	- 1,08	2:40:50
07.03.2025 10:00	- 0,47	- 0,47	- 1,09	2:50:51
07.03.2025 10:10	- 0,44	- 0,44	- 1,13	3:00:49
07.03.2025 10:20	- 0,42	- 0,48	- 1,11	3:10:50
07.03.2025 10:30	- 0,44	- 0,44	- 1,19	3:20:49
07.03.2025 10:40	- 0,43	- 0,50	- 1,12	3:30:51
07.03.2025 10:50	- 0,39	- 0,45	- 1,14	3:40:51
07.03.2025 11:00	- 0,41	- 0,48	- 1,16	3:50:49
07.03.2025 11:10	- 0,43	- 0,43	- 1,18	4:00:50
07.03.2025 11:20	- 0,39	- 0,45	- 1,20	4:10:51
07.03.2025 11:30	- 0,42	- 0,42	- 1,17	4:20:51
07.03.2025 11:40	- 0,44	- 0,38	- 1,19	4:30:49
07.03.2025 11:50	- 0,40	- 0,40	- 1,15	4:40:50
07.03.2025 12:00	- 0,38	- 0,38	- 1,19	4:50:49

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Odchylka temp2 [°C]	Odchylka temp3 [°C]	Odchylka temp4 [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
07.03.2025 12:10	- 0,40	- 0,40	- 1,22	5:00:51
07.03.2025 12:20	- 0,44	- 0,38	- 1,19	5:10:51
07.03.2025 12:30	- 0,44	- 0,38	- 1,19	5:20:49
07.03.2025 12:40	- 0,42	- 0,42	- 1,17	5:30:51
07.03.2025 12:50	- 0,36	- 0,43	- 1,18	5:40:50
07.03.2025 13:00	- 0,38	- 0,44	- 1,19	5:50:51
07.03.2025 13:10	- 0,39	- 0,39	- 1,20	6:00:50
07.03.2025 13:20	- 0,39	- 0,39	- 1,20	6:10:50
07.03.2025 13:30	- 0,43	- 0,37	- 1,18	6:20:49
07.03.2025 13:40	- 0,41	- 0,41	- 1,16	6:30:51
07.03.2025 13:50	- 0,38	- 0,45	- 1,13	6:40:51
07.03.2025 14:00	- 0,37	- 0,44	- 1,19	6:50:49
07.03.2025 14:10	- 0,33	- 0,39	- 1,26	7:00:50
07.03.2025 14:20	- 0,28	- 0,41	- 1,22	7:10:49
07.03.2025 14:30	- 0,27	- 0,45	- 1,20	7:20:50
07.03.2025 14:40	- 0,28	- 0,41	- 1,22	7:30:51
07.03.2025 14:50	- 0,29	- 0,36	- 1,17	7:40:50
07.03.2025 15:00	- 0,27	- 0,34	- 1,15	7:50:50
07.03.2025 15:10	- 0,32	- 0,38	- 1,13	8:00:49
07.03.2025 15:20	- 0,29	- 0,35	- 1,10	8:10:49
07.03.2025 15:30	- 0,30	- 0,36	- 1,11	8:20:50
07.03.2025 15:40	- 0,34	- 0,34	- 1,15	8:30:49

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Odchylka temp5 [°C]	Odchylka temp6 [°C]	Maximální odchylka [°C]	Minimální odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
07.03.2025 7:09	0,08	- 0,04	0,14	- 0,11	0:00:00
07.03.2025 7:20	0,22	0,16	0,22	- 0,34	0:10:50
07.03.2025 7:30	0,61	0,17	0,61	- 0,71	0:20:51
07.03.2025 7:40	0,85	0,16	0,85	- 0,84	0:30:51
07.03.2025 7:50	1,10	0,16	1,10	- 0,90	0:40:51
07.03.2025 8:00	1,24	0,12	1,24	- 0,88	0:50:49
07.03.2025 8:10	1,38	0,01	1,38	- 0,81	1:00:49
07.03.2025 8:20	1,50	0,00	1,50	- 0,81	1:10:51
07.03.2025 8:30	1,65	- 0,04	1,65	- 0,73	1:20:50
07.03.2025 8:40	1,75	- 0,13	1,75	- 0,69	1:30:49
07.03.2025 8:50	1,88	- 0,12	1,88	- 0,68	1:40:50
07.03.2025 9:00	1,92	- 0,21	1,92	- 0,77	1:50:49
07.03.2025 9:10	2,02	- 0,23	2,02	- 0,86	2:00:51
07.03.2025 9:20	2,10	- 0,28	2,10	- 0,90	2:10:51
07.03.2025 9:30	2,15	- 0,35	2,15	- 0,91	2:20:49
07.03.2025 9:40	2,21	- 0,29	2,21	- 1,04	2:30:51
07.03.2025 9:50	2,29	- 0,33	2,29	- 1,08	2:40:50
07.03.2025 10:00	2,28	- 0,34	2,28	- 1,09	2:50:51
07.03.2025 10:10	2,37	- 0,38	2,37	- 1,13	3:00:49
07.03.2025 10:20	2,33	- 0,36	2,33	- 1,11	3:10:50
07.03.2025 10:30	2,38	- 0,37	2,38	- 1,19	3:20:49
07.03.2025 10:40	2,44	- 0,37	2,44	- 1,12	3:30:51
07.03.2025 10:50	2,42	- 0,39	2,42	- 1,14	3:40:51
07.03.2025 11:00	2,46	- 0,41	2,46	- 1,16	3:50:49
07.03.2025 11:10	2,45	- 0,43	2,45	- 1,18	4:00:50
07.03.2025 11:20	2,49	- 0,45	2,49	- 1,20	4:10:51
07.03.2025 11:30	2,39	- 0,42	2,39	- 1,17	4:20:51
07.03.2025 11:40	2,43	- 0,44	2,43	- 1,19	4:30:49
07.03.2025 11:50	2,47	- 0,47	2,47	- 1,15	4:40:50
07.03.2025 12:00	2,44	- 0,44	2,44	- 1,19	4:50:49

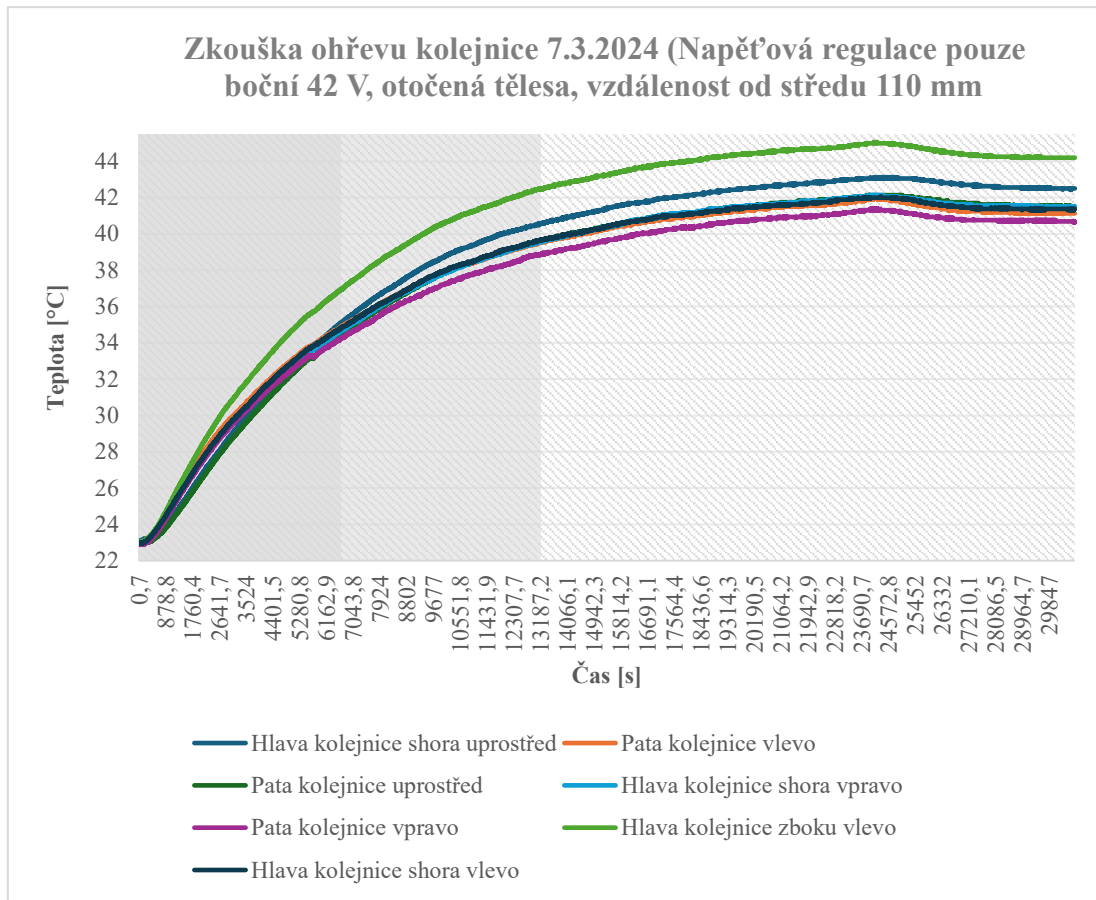
Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Odchylka temp5 [°C]	Odchylka temp6 [°C]	Maximální odchylka [°C]	Minimální odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
07.03.2025 12:10	2,47	- 0,47	2,47	- 1,22	5:00:51
07.03.2025 12:20	2,50	- 0,44	2,50	- 1,19	5:10:51
07.03.2025 12:30	2,49	- 0,44	2,49	- 1,19	5:20:49
07.03.2025 12:40	2,52	- 0,48	2,52	- 1,17	5:30:51
07.03.2025 12:50	2,51	- 0,49	2,51	- 1,18	5:40:50
07.03.2025 13:00	2,49	- 0,51	2,49	- 1,19	5:50:51
07.03.2025 13:10	2,49	- 0,51	2,49	- 1,20	6:00:50
07.03.2025 13:20	2,49	- 0,51	2,49	- 1,20	6:10:50
07.03.2025 13:30	2,44	- 0,50	2,44	- 1,18	6:20:49
07.03.2025 13:40	2,47	- 0,47	2,47	- 1,16	6:30:51
07.03.2025 13:50	2,49	- 0,51	2,49	- 1,13	6:40:51
07.03.2025 14:00	2,50	- 0,50	2,50	- 1,19	6:50:49
07.03.2025 14:10	2,49	- 0,51	2,49	- 1,26	7:00:50
07.03.2025 14:20	2,47	- 0,53	2,47	- 1,22	7:10:49
07.03.2025 14:30	2,42	- 0,52	2,42	- 1,20	7:20:50
07.03.2025 14:40	2,41	- 0,53	2,41	- 1,22	7:30:51
07.03.2025 14:50	2,39	- 0,54	2,39	- 1,17	7:40:50
07.03.2025 15:00	2,35	- 0,52	2,35	- 1,15	7:50:50
07.03.2025 15:10	2,31	- 0,50	2,31	- 1,13	8:00:49
07.03.2025 15:20	2,34	- 0,54	2,34	- 1,10	8:10:49
07.03.2025 15:30	2,33	- 0,48	2,33	- 1,11	8:20:50
07.03.2025 15:40	2,35	- 0,46	2,35	- 1,15	8:30:49

Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Rozpětí odchylek [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Variační koeficient [%]	Mediánová odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
07.03.2025 7:09	0,25	0,085	0,37	0,06	0:00:00
07.03.2025 7:20	0,56	0,204	0,86	0,13	0:10:50
07.03.2025 7:30	1,32	0,467	1,84	0,32	0:20:51
07.03.2025 7:40	1,69	0,584	2,17	0,37	0:30:51
07.03.2025 7:50	2,00	0,669	2,36	0,32	0:40:51
07.03.2025 8:00	2,12	0,687	2,32	0,31	0:50:49
07.03.2025 8:10	2,19	0,695	2,27	0,25	1:00:49
07.03.2025 8:20	2,31	0,728	2,29	0,25	1:10:51
07.03.2025 8:30	2,38	0,775	2,37	0,25	1:20:50
07.03.2025 8:40	2,44	0,812	2,42	0,13	1:30:49
07.03.2025 8:50	2,56	0,873	2,55	0,19	1:40:50
07.03.2025 9:00	2,69	0,894	2,55	0,32	1:50:49
07.03.2025 9:10	2,88	0,948	2,66	0,31	2:00:51
07.03.2025 9:20	3,00	0,992	2,73	0,25	2:10:51
07.03.2025 9:30	3,06	1,010	2,74	0,12	2:20:49
07.03.2025 9:40	3,25	1,060	2,83	0,13	2:30:51
07.03.2025 9:50	3,37	1,101	2,90	0,07	2:40:50
07.03.2025 10:00	3,37	1,105	2,87	0,07	2:50:51
07.03.2025 10:10	3,50	1,144	2,95	0,06	3:00:49
07.03.2025 10:20	3,44	1,133	2,89	0,06	3:10:50
07.03.2025 10:30	3,57	1,167	2,95	0,07	3:20:49
07.03.2025 10:40	3,56	1,175	2,95	0,07	3:30:51
07.03.2025 10:50	3,56	1,166	2,91	0,13	3:40:51
07.03.2025 11:00	3,62	1,192	2,96	0,13	3:50:49
07.03.2025 11:10	3,63	1,196	2,95	0,12	4:00:50
07.03.2025 11:20	3,69	1,213	2,98	0,12	4:10:51
07.03.2025 11:30	3,56	1,172	2,86	0,12	4:20:51
07.03.2025 11:40	3,62	1,190	2,89	0,13	4:30:49
07.03.2025 11:50	3,62	1,197	2,90	0,19	4:40:50
07.03.2025 12:00	3,63	1,195	2,88	0,25	4:50:49

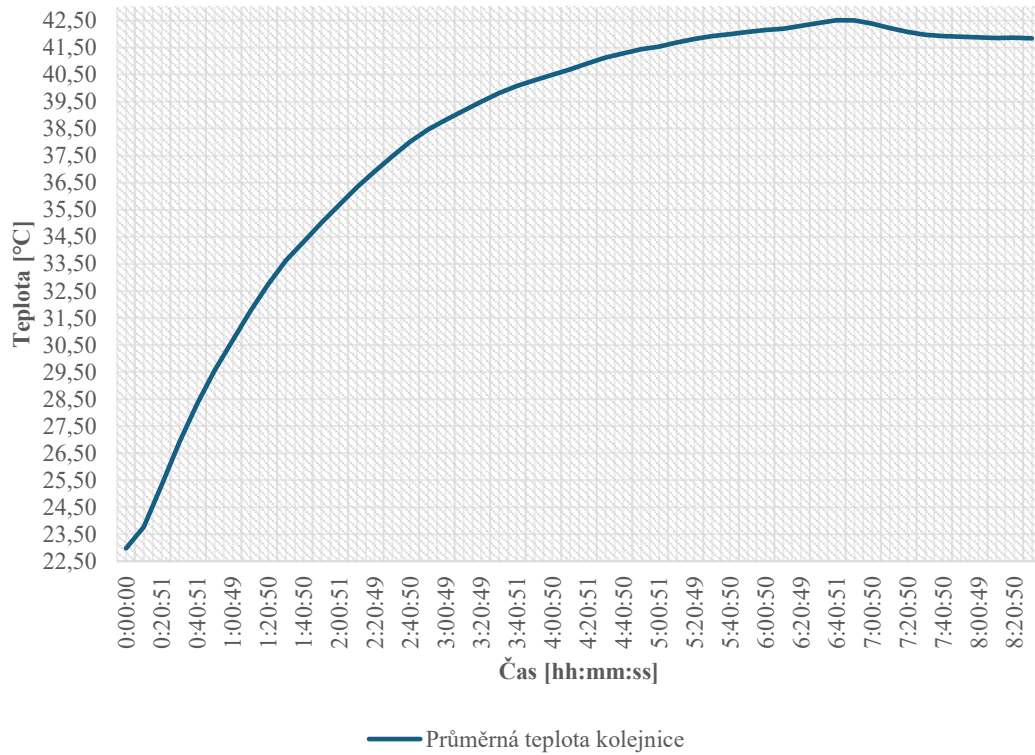
Datum a čas [DD.MM.RRRR HH:MM:SS]	Rozpětí odchylek [°C]	Směrodatná odchylka [°C]	Variační koeficient [%]	Mediánová odchylka [°C]	Čas měření [HH:MM:SS]
07.03.2025 12:10	3,69	1,214	2,92	0,19	5:00:51
07.03.2025 12:20	3,69	1,218	2,92	0,19	5:10:51
07.03.2025 12:30	3,68	1,215	2,91	0,19	5:20:49
07.03.2025 12:40	3,69	1,225	2,92	0,19	5:30:51
07.03.2025 12:50	3,69	1,221	2,91	0,18	5:40:50
07.03.2025 13:00	3,68	1,220	2,90	0,13	5:50:51
07.03.2025 13:10	3,69	1,219	2,89	0,19	6:00:50
07.03.2025 13:20	3,69	1,224	2,90	0,25	6:10:50
07.03.2025 13:30	3,62	1,204	2,85	0,19	6:20:49
07.03.2025 13:40	3,63	1,205	2,84	0,19	6:30:51
07.03.2025 13:50	3,62	1,205	2,83	0,12	6:40:51
07.03.2025 14:00	3,69	1,227	2,89	0,18	6:50:49
07.03.2025 14:10	3,75	1,241	2,93	0,31	7:00:50
07.03.2025 14:20	3,69	1,235	2,93	0,31	7:10:49
07.03.2025 14:30	3,62	1,216	2,89	0,25	7:20:50
07.03.2025 14:40	3,63	1,210	2,88	0,25	7:30:51
07.03.2025 14:50	3,56	1,199	2,86	0,37	7:40:50
07.03.2025 15:00	3,50	1,172	2,80	0,37	7:50:50
07.03.2025 15:10	3,44	1,158	2,77	0,31	8:00:49
07.03.2025 15:20	3,44	1,164	2,78	0,37	8:10:49
07.03.2025 15:30	3,44	1,159	2,77	0,37	8:20:50
07.03.2025 15:40	3,50	1,171	2,80	0,37	8:30:49

Průměrné rozpětí odchylek [°C]:	3,155
Průměrná směrodatná odchylka [°C]:	1,045
Průměrný variační koeficient [%]:	2,678
Median medianových odchylek [°C]:	0,190

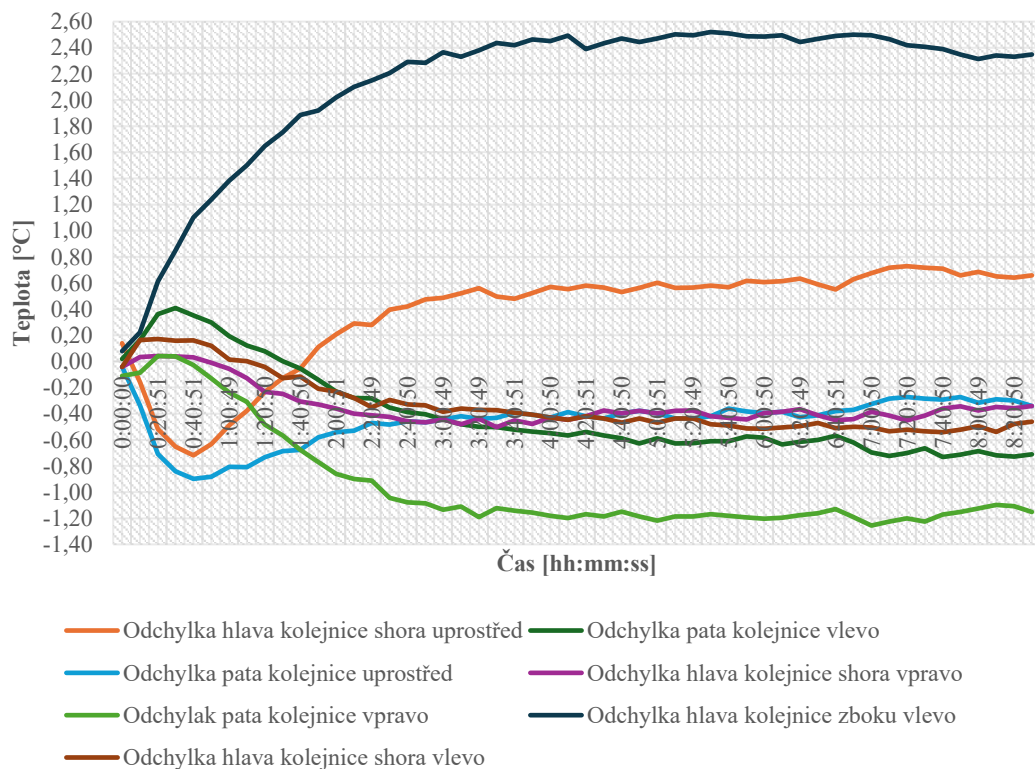
### Příloha 35.3. Grafy

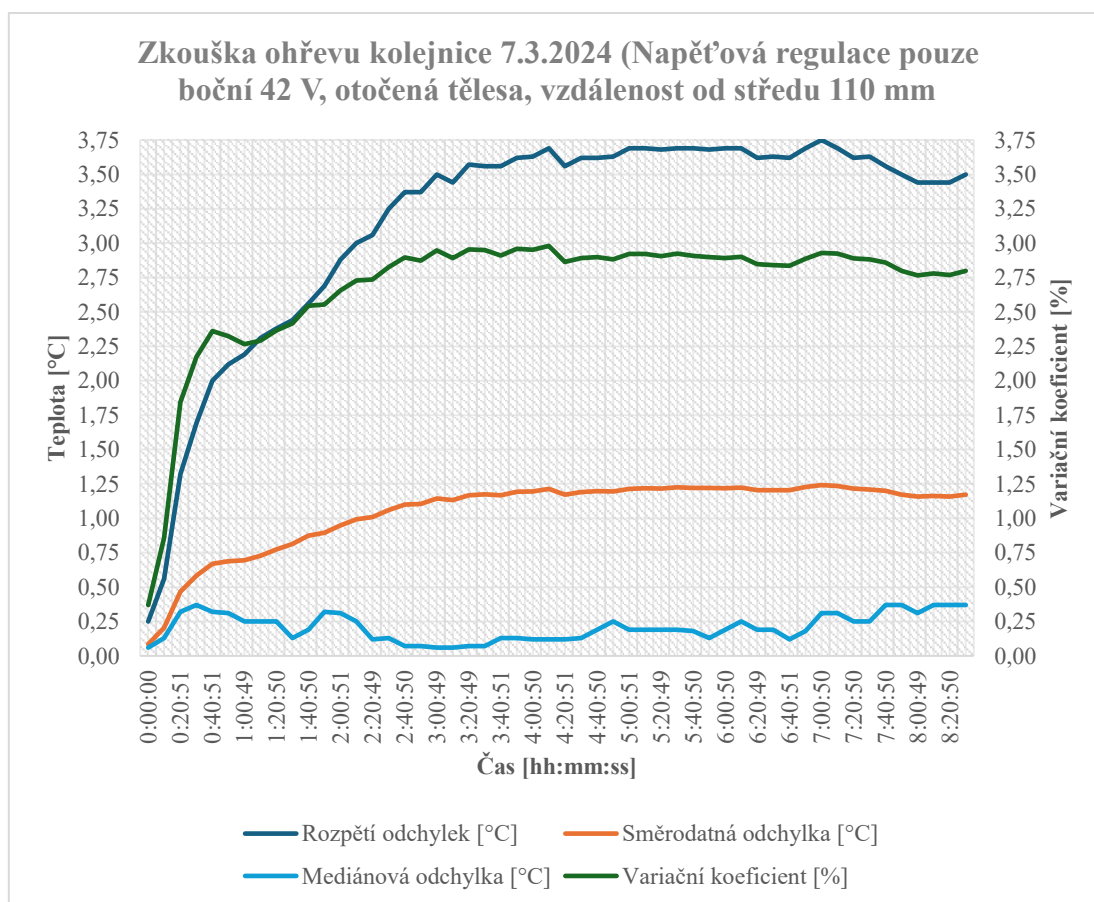


Zkouška ohřevu kolejnice 7.3.2024 (Napět'ová regulace pouze boční 42 V, otočená tělesa, vzdálenost od středu 110 mm)



Zkouška ohřevu kolejnice 7.3.2024 (Napět'ová regulace pouze boční 42 V, otočená tělesa, vzdálenost od středu 110 mm)





### Příloha 35.4. Závěr

Tato zkouška se zaměřila na ověření účinnosti ohřevu kolejnice při aktivaci výhradně bočních topných těles. Topná tělesa byla umístěna ve vzdálenosti 110 mm od středu kolejnice a napájena prostřednictvím regulátorů napětí nastavených na hodnotu 42 V.

Výsledky měření prokázaly, že i při deaktivaci horních topných těles byl ohřev kolejnice velmi rovnoměrný a teplotní pole stabilní. Statistické ukazatele vykazovaly hodnoty srovnatelné s předchozí, dosud nejúspěšnější zkouškou, kdy byla aktivní všechna topná tělesa. Ukázalo se, že konfigurace s bočními topnými tělesy může za určitých podmínek plně postačovat k dosažení požadovaného teplotního rozložení.

Zkouška tak poskytla důležitý poznatek pro případné alternativní řešení ohřevu v rámci experimentu. Přestože se v dalších měřeních bude primárně vycházet z předchozí zkoušky s kompletní sestavou těles, konfigurace použitá v této zkoušce může v případě potřeby představovat vhodnou záložní variantu.

## Příloha 36 návody k hydromotorům Inova AH

### 2. PARAMETRY

<i>parametr</i>	<i>jednotka</i>	
jmenovitý tlak, provedení M1	MPa	21
jmenovitý tlak, provedení M0	MPa	28
tlakový spád, při kterém je dosaženo jmenovité síly, provedení M1	MPa	20
tlakový spád, při kterém je dosaženo jmenovité síly, provedení M0	MPa	25
maximální tlak v kanálu L, provedení se stěracími kroužky, válec bez stěráků vyžaduje odsávací čerpadlo	MPa	0.3
čistota oleje min	dle NAS 1638	4
maximální rychlost pístnice	m/s	2.5
snímač LVDT napájení	V <sub>ef</sub>	2 / 5 kHz
výstup	V <sub>ef</sub>	1
půlmůstkový snímač nap.	V <sub>ef</sub>	<5 / 5 kHz
výstup	mV/V	80
snímač DU napájení	V <sub>ef</sub>	<5 / 10 kHz
výstup	mV/V	190□

□ pro zdvih 250 mm

tabulka 1

### MAXIMÁLNÍ DOVOLENÁ BOČNÍ SÍLA PŘI UPEVNĚNÉM HYDROMOTORU ZA HORNÍ LOŽISKO

<i>maximální radiální síla [kN]</i>	<i>zdvih [mm]</i>	<i>jmenovitá síla F<sub>N</sub> [kN]</i>						
		<b>10-25</b>	<b>40-63</b>	<b>100</b>	<b>160</b>	<b>250</b>	<b>400</b>	<b>630</b>
F <sub>R1</sub>	100	5,5	6,5	13,5		40	65	105
F <sub>R2</sub>		2,5	5	11		33	55	88
F <sub>R1</sub>	250	4,5	6,5	13,5		40	65	105
F <sub>R2</sub>		0,6	1,5	5		22	43	72
F <sub>R1</sub>	300			13,5				
F <sub>R2</sub>				3,5				

tabulka 2

## PŘIPOJENÉ HMOTY :

Hydromotory AH jsou v základním provedení určeny pro provoz se zátěží, která je omezena kombinací maximální dosažitelné rychlosti a připojenou hmotou. Maximální připojená hmotota  $m_{max}$  je dána tímto výrazem:

$$m_{max} = 8 \cdot F_{jmen} / v_{max}$$

(kg) = (kN) (m/s)

kde je

$$v_{max} = \sum Q_{sv} \cdot p_{výp} / F_{jmen} / 30$$

(m/s) = (l/min). (MPa).(kN)

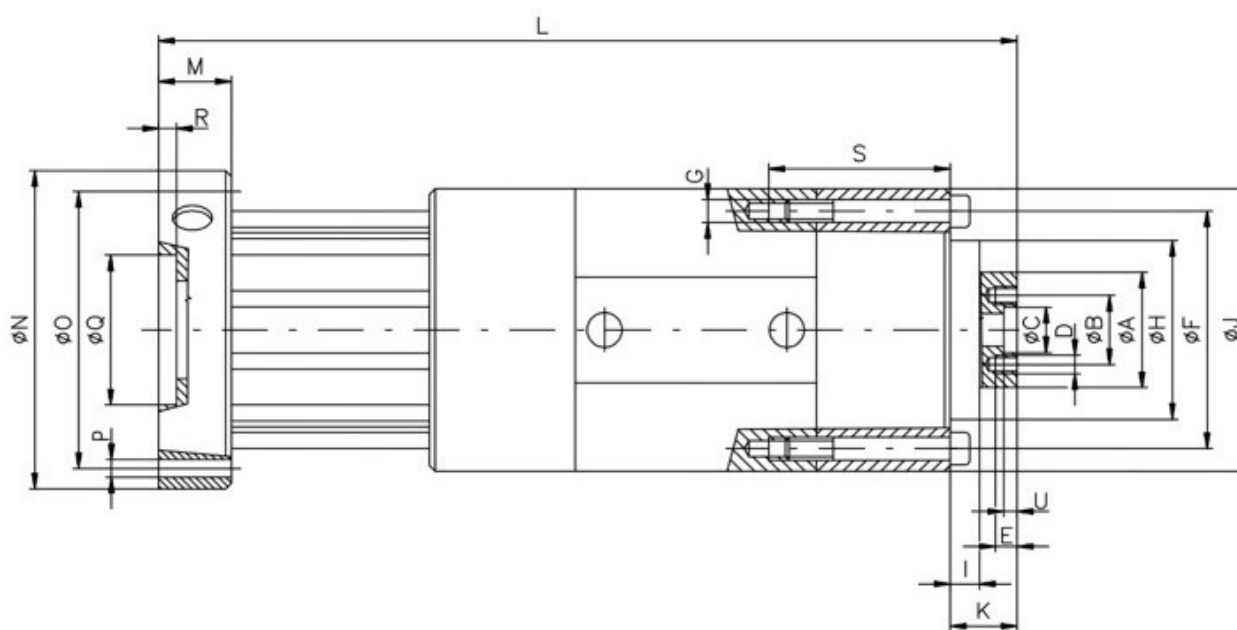
$\sum Q_{sv}$  součet jmenovitých průtoků paralelních servoventilů  
 $p_{výp}$  tlakový spád pro výpočet jmenovité síly  
 $F_{jmen}$  jmenovitá síla kN

Toto omezení je dáno délkou a účinností standardního provedení koncového tlumení v úvratích. Pro aplikace, kde může být tato hodnota překročena, lze dodat hydromotory s prodlouženým koncovým tlumením a s pružinovým dorazem. (Tyto speciální provedení pak mají nestandardní rozměry.)

## Rozměrová tabulka

Typ		AH10,16,25	AH40,63	AH100,160	AH250	AH400	AH630	AH1000
rozměry: A	mm	□45	□55	□80	□125		□160	□200
B	mm	□30	□30	□45	□71	□95	□112	117□
C	mm	□18H7	□18H7	□18H7	□30H7		□50H7	□50H7
D	mm	8xM6	8xM6	8xM10	8xM16	8xM20	8xM24	8xM24
E	mm	40	40	65	130	150	180	270
F	mm	□80	□100	□160	□224		□280	□355
G	mm	8xM8	6xM10	12xM10	12xM16		12xM20	12xM24
H	mm	□65g6	□75g6	□125g6	□190g6		□236g6	□300g6
I	mm	15	15	20	25		25	30
J	mm	□110	□130	□200	□280		□340	□420
K	mm	45	45	50	55		55	60
$L_{100}$	mm	520	535	565	600		690	750
$L_{250}$	mm	820	835	865	900		990	1050
M	mm	40	40	50	60		70	80
N	mm	130	140	215	285	330	350	420
O	mm	110	120	180	245	290	320	380
P	mm	8x□9	6x□11	12x□11	12x□17		12x□22	12x□26
Q	mm	□55	□55	□105	□105		□105	105□
R	mm	4	4	6	10		10	10
S	mm	70	70	75	110		142	142
U	mm	4	4	6	6		8	8
hmotnost								
$L_{100}$	kg	24	36	110	260		430	660
$L_{250}$	kg	37	59	150	360		640	950

tabulka 3



obr. 4

**Připojovací závity šroubení:**

označení vývodu	do 630 kN včetně		1000 kN	
	M01	M06	M01	M06
vývody L na ložisku	M 18 x 1.5	G3/8	M 22 x 1,5	G1/2
vývody L na patní přírubě a stojně	M 14 x 1.5	G1/4	M 16 x 1,5	G3/8
vývody pro měření tlaku A a B	M 12 x 1.5	G1/4	M 12 x 1.5	G1/4

tabulka 4

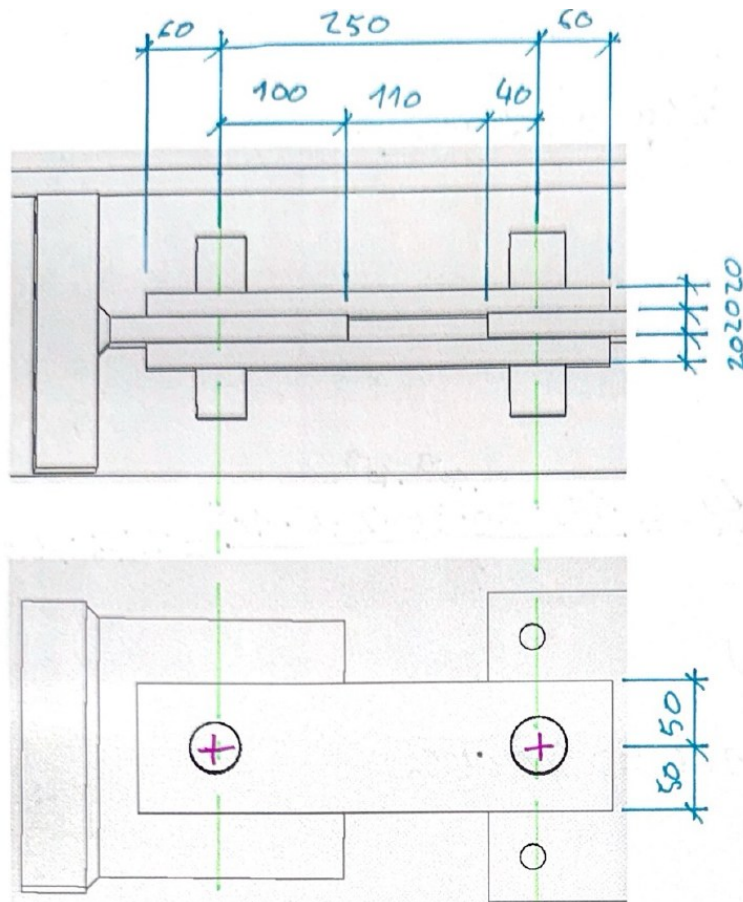
Závity jsou konstruovány pro připojení šroubení Ermeto s těsněním Eloastic ED

Zapojení snímačů polohy						
špička konektoru	WLG		LVDT PP		LVDT DU	
	barva	význam	barva	význam	barva	význam
A	žlutá+bílá	střed	zelená	+výstup	červená	výstup
B	červená	+napájení	bílá	-napájení	modrá	napájení
C	modrá	-napájení	hnědá	+napájení	bílá	napájení
D	-	-	žlutá	-výstup	černá	výstup
G	-	-	-	-	-	-

tabulka 5

## Příloha 37 Posouzení šroubových a čepových spojů

### Příloha 37.1. Čepový spoj – stříh a otláčení



Materiál – ocel S235  $\Rightarrow f_y = 235 \text{ MPa}$

$\Rightarrow f_u = 360 \text{ MPa}$

#### Únosnost čepu ve stříhu

$d = 35 \text{ mm}$

$ns = 2$  (Počet smykových ploch)

$A = \pi * r^2 = 3,14159 * 17,5^2$

$A = 962,112 \text{ mm}^2$

$f_{up} = f_u = 360 \text{ MPa}$

$\gamma_{M2} = 1,25$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * A * f_{up}}{\gamma_{M2}} * ns = \frac{0,6 * 962,112 * 10^{-6} * 10^6}{1,25} * 2 = 332\,504 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd} = 332,504 \text{ kN} \Rightarrow \frac{N_{ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{200}{332,504} = 0,6014 \Rightarrow 60,14\% \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Únosnost plechu a čepu v otláčení

$$t = 20 \text{ mm}$$

$$d = 35 \text{ mm}$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

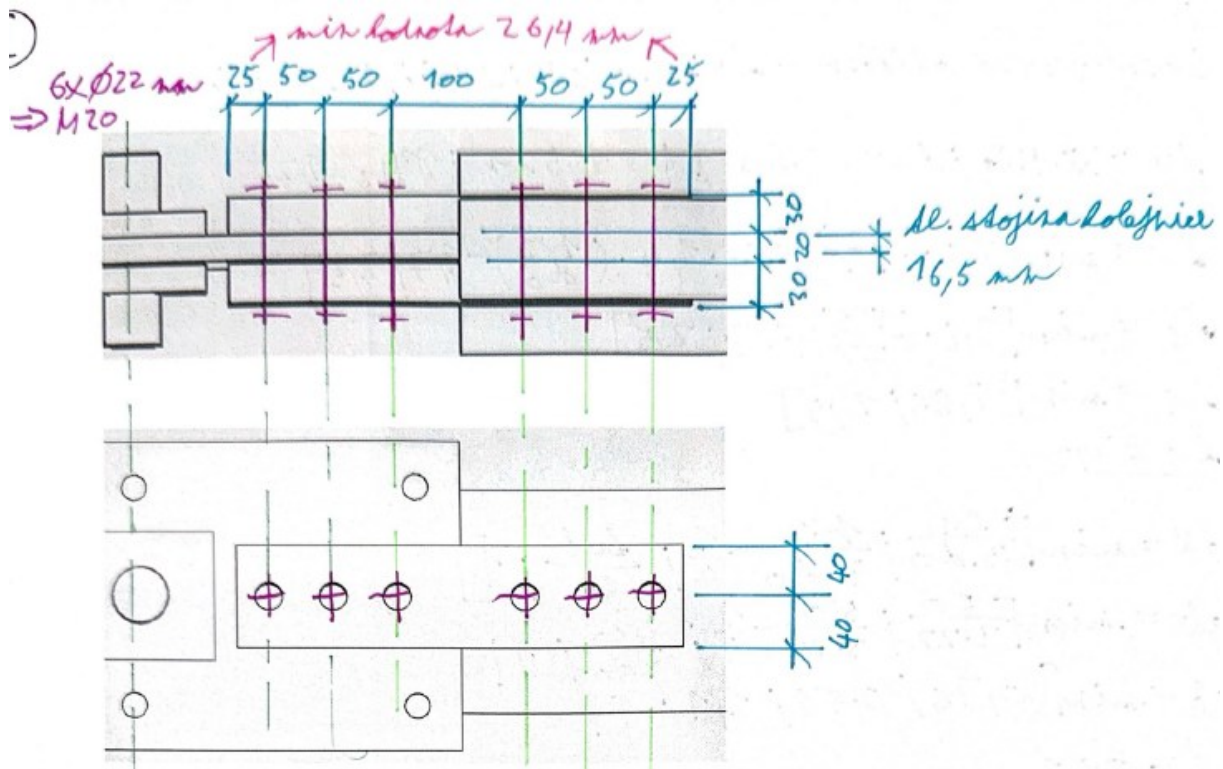
$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 * t * d * f_y * n_s}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 * 20 * 10^{-3} * 35 * 10^{-3} * 235 * 10^6 * 2}{1,0} = 246\,750 \text{ N}$$

$$F_{b,Rd} = 246,750 \text{ kN} \Rightarrow \frac{N_{ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{200}{246,750} = 0,8105 \Rightarrow 81,05\% \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Čepové spoje vyhoví na stříh a otláčení dle ČSN EN 1993-1-8.**

## Příloha 37.2. Šroubový spoj kategorie A – stříh a otláčení:

Připojení experimentální kolejnice k sestavě upevnění



Jakostní třída šroubů: 4.6 ⇒  $f_{yb} = 240 \text{ N/mm}^2$

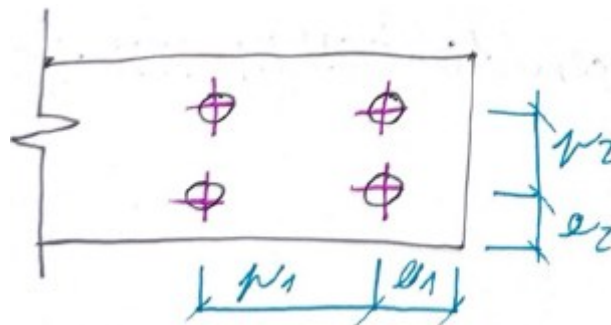
$$f_{ub} = 400 \text{ N/mm}^2$$

Materiál – ocel S235 ⇒  $f_y = 235 \text{ MPa}$

$$\Rightarrow f_u = 360 \text{ MPa}$$

Šrouby – M20 ⇒  $d = 20 \text{ mm}$ ;  $d_0 = 22 \text{ mm}$

### Minimální vzdálenosti



$$e_1 = e_2 = 1,2 * d_0 = 26,4 \text{ mm}$$

$$p_1 = 2,2 * d_0 = 48,4 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4 * d_0 = 52,8 \text{ mm}$$

### Příloha 37.3. Posouzení v otláčení – kritické místo: stojina kolejnice

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$t = 16,5 \text{ mm}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$k_1 = \min \left[ 2,8 * \left( \frac{e_2}{d_0} \right) - 1,7; 1,4 * \left( \frac{p_2}{d_0} \right) - 1,7; 2,5 \right]$$

$$k_1 = \min \left[ 2,8 * \left( \frac{83}{22} \right) - 1,7; 2,5 \right]$$

$$k_1 = \min[8,86; 2,5]$$

$$k_1 = 2,5$$

$$ab = \min \left[ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right]$$

$$ab = \min \left[ \frac{50}{3 * 22}; \frac{50}{3 * 22} - \frac{1}{4}; \frac{400}{360}; 1 \right]$$

$$ab = \min[0,76; 0,51; 1,1; 1]$$

$$ab = 0,51$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * ab * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,51 * 360 * 10^3 * 20 * 10^{-3} * 16,5 * 10^{-3}}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 121\,176 \text{ N} = 121,176 \text{ kN} \Rightarrow 3\text{ks šroubů} = 3 * 121,176 = 363,528 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{200}{363,528} = 0,55 \Rightarrow 55\% \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

#### Příloha 37.4. Posouzení v otačení – příložné plechy

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$t = 2 * 30 \text{ mm}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$k_1 = \min \left[ 2,8 * \left( \frac{e_2}{d_0} \right) - 1,7; 1,4 * \left( \frac{p_2}{d_0} \right) - 1,7; 2,5 \right]$$

$$k_1 = \min \left[ 2,8 * \left( \frac{40}{22} \right) - 1,7; 2,5 \right]$$

$$k_1 = \min[3,39; 2,5]$$

$$k_1 = 2,5$$

$$ab = \min \left[ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right]$$

$$ab = \min \left[ \frac{26,4}{3 * 22}; \frac{50}{3 * 22} - \frac{1}{4}; \frac{400}{360}; 1 \right]$$

$$ab = \min[0,4; 0,51; 1,1; 1]$$

$$ab = 0,4$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * ab * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,4 * 360 * 10^3 * 20 * 10^{-3} * 2 * 30 * 10^{-3}}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 345\,600 \text{ N} = 345,6 \text{ kN} \Rightarrow 3 \text{ ks šroubů} = 3 * 345,6 = 1036,8 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{200}{1036,8} = 0,192 \Rightarrow 19,2\% \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### **Příloha 37.5. Posouzení únosnosti ve stříhu**

$\alpha_v = 0,6 \Rightarrow$  Rovina stříhu prochází částí šroubu bez závitu.

$$f_{ub} = 400 \text{ N/mm}^2$$

$$A = \pi * r^2$$

$$A = 3,14159 * 10^2 = 314,159 \text{ mm}^2$$

$ns = 2$  (počet smykových ploch)

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A * ns}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 400 * 314,159 * 2}{1,25} = 120\,637 \text{ N}$$

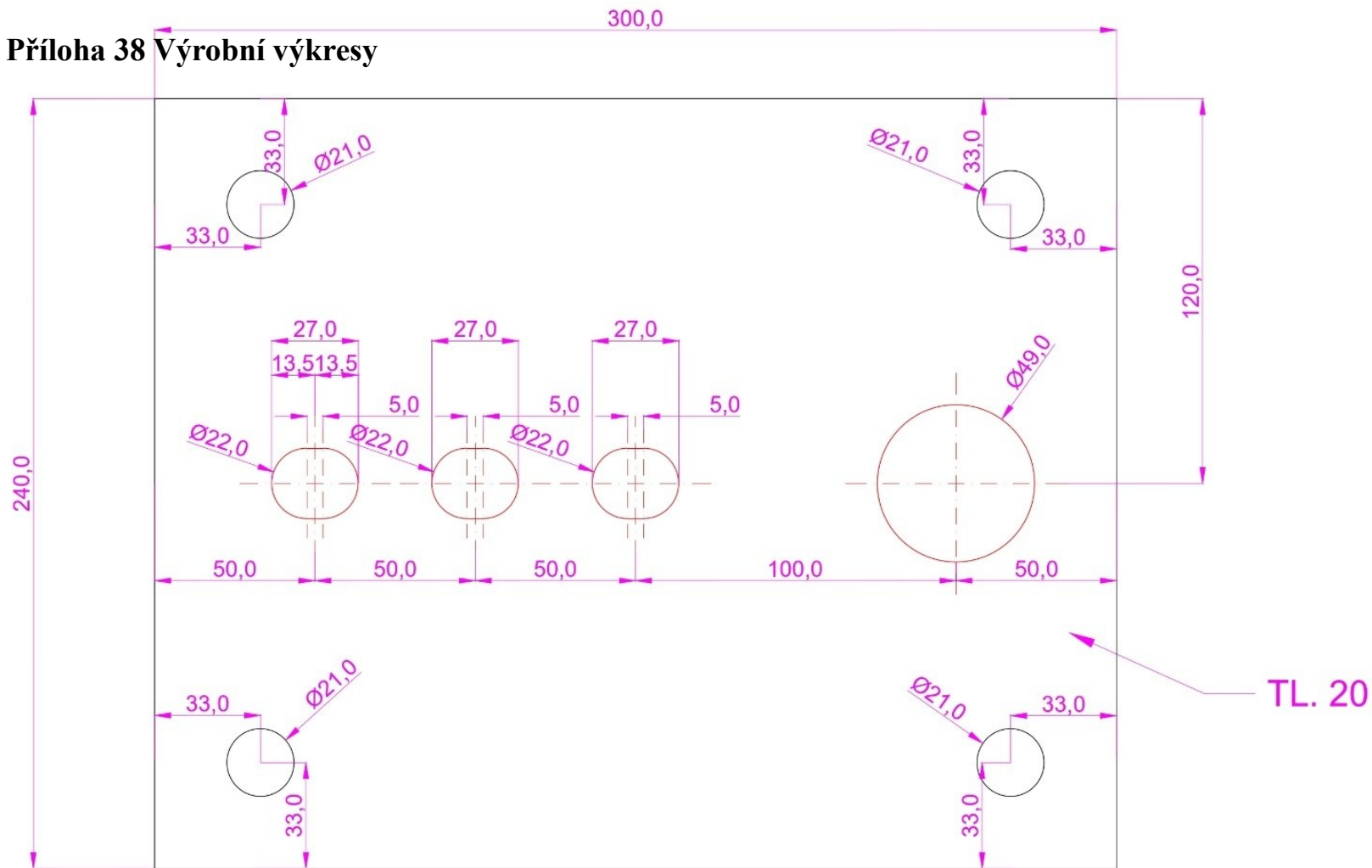
$$F_{v,Rd} = 120,637 \text{ kN} \Rightarrow 3\text{ks šroubů} = 3 * 120,637 = 361,911 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 200 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{200}{361,911} = 0,552 \Rightarrow 55,2\% \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Šroubový spoj vyhoví na otláčení dle ČSN EN 1993-1-8.**

**Příloha 38 Výrobní výkresy**

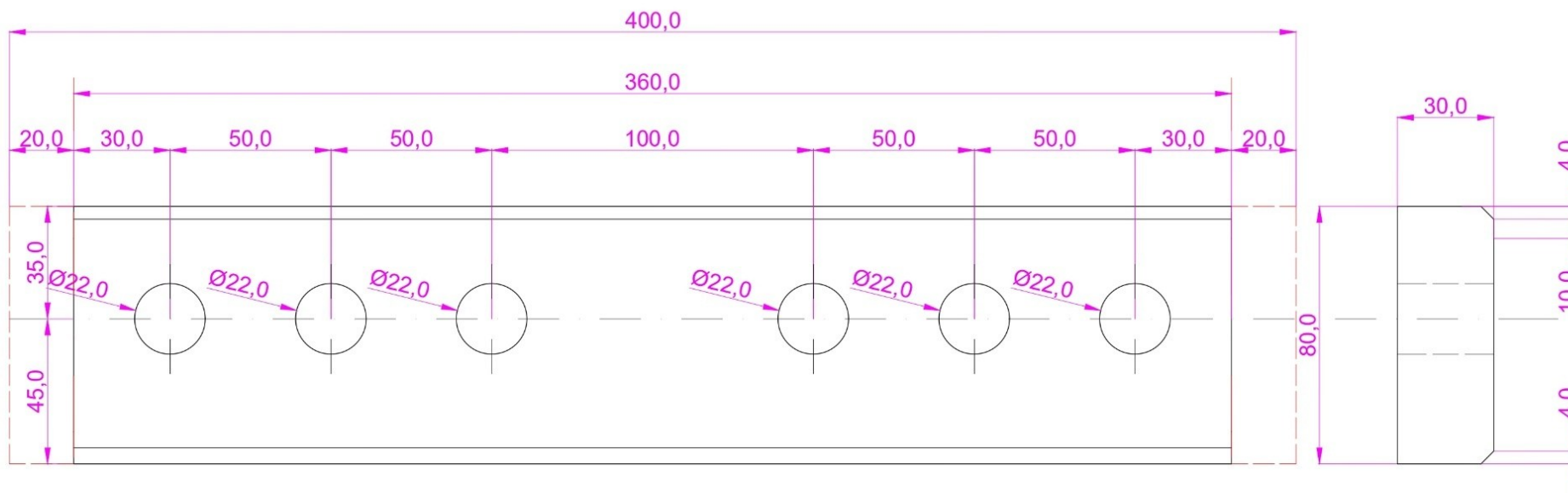


Vypracoval: Bc. Miloš Šula	Kontroloval:	Dopravní fakulta Jana Pernera	
Plech připojení táhla a kolejnice		Datum:	28.3.2024
		Formát:	A4
		č. výkresu:	5
		Měřítko: 1:2	Pravoúhlé promítání: ISO E

### Poznámky:

Celkem 2 kusy.

Úprava stávajících kusů.



ŘEZ

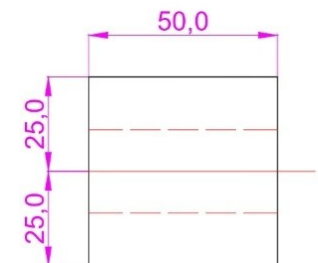
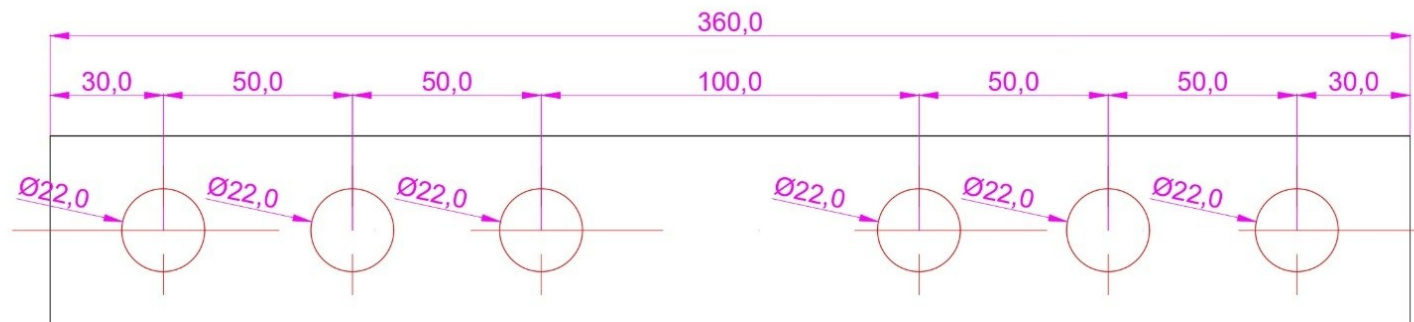
ŘEZ

Vypracoval:	Kontroloval:	Dopravní fakulta Jana Pernera	
Bc. Miloš Šula		Datum:	28.3.2024
Příložený plech kolejnice 1		Formát:	A4
		č. výkresu:	6
		Měřítko:	Pravoúhlé promítání: ISO E
		1:2	

## Poznámky:

Celkem 2 kusy.

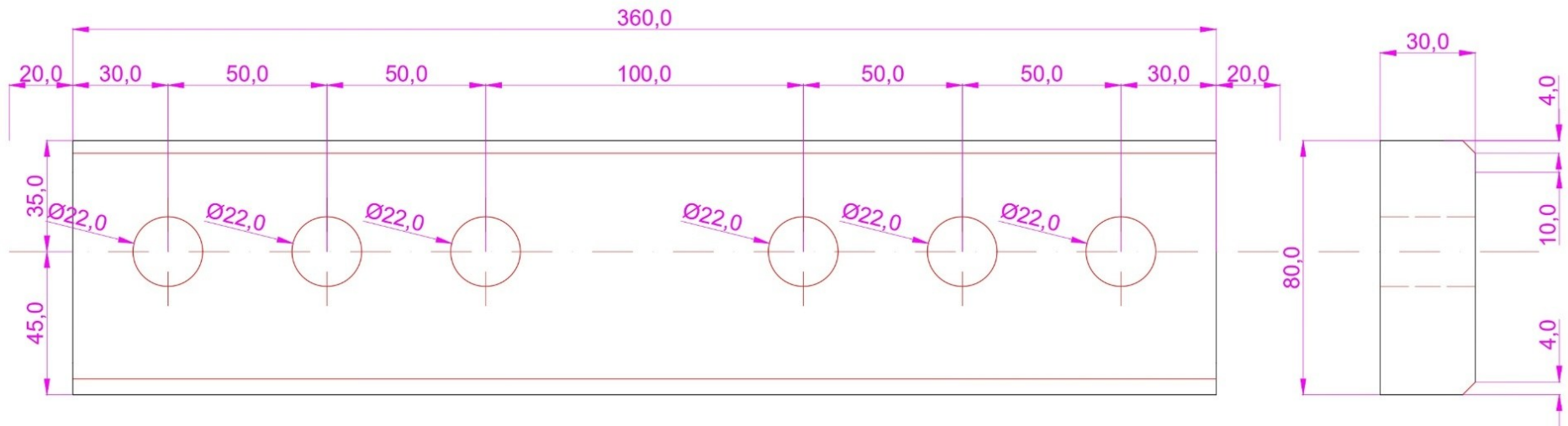
Alternativní použití stávajících hranolů.



Vypracoval:	Kontroloval:	Dopravní fakulta Jana Pernera	
Bc. Miloš Šula		Datum:	28.3.2024
Příložený plech kolejnice 2		Formát:	A4
		č. výkresu:	7a
		Měřítko:	Pravoúhlé promítání: ISO E
1:2			

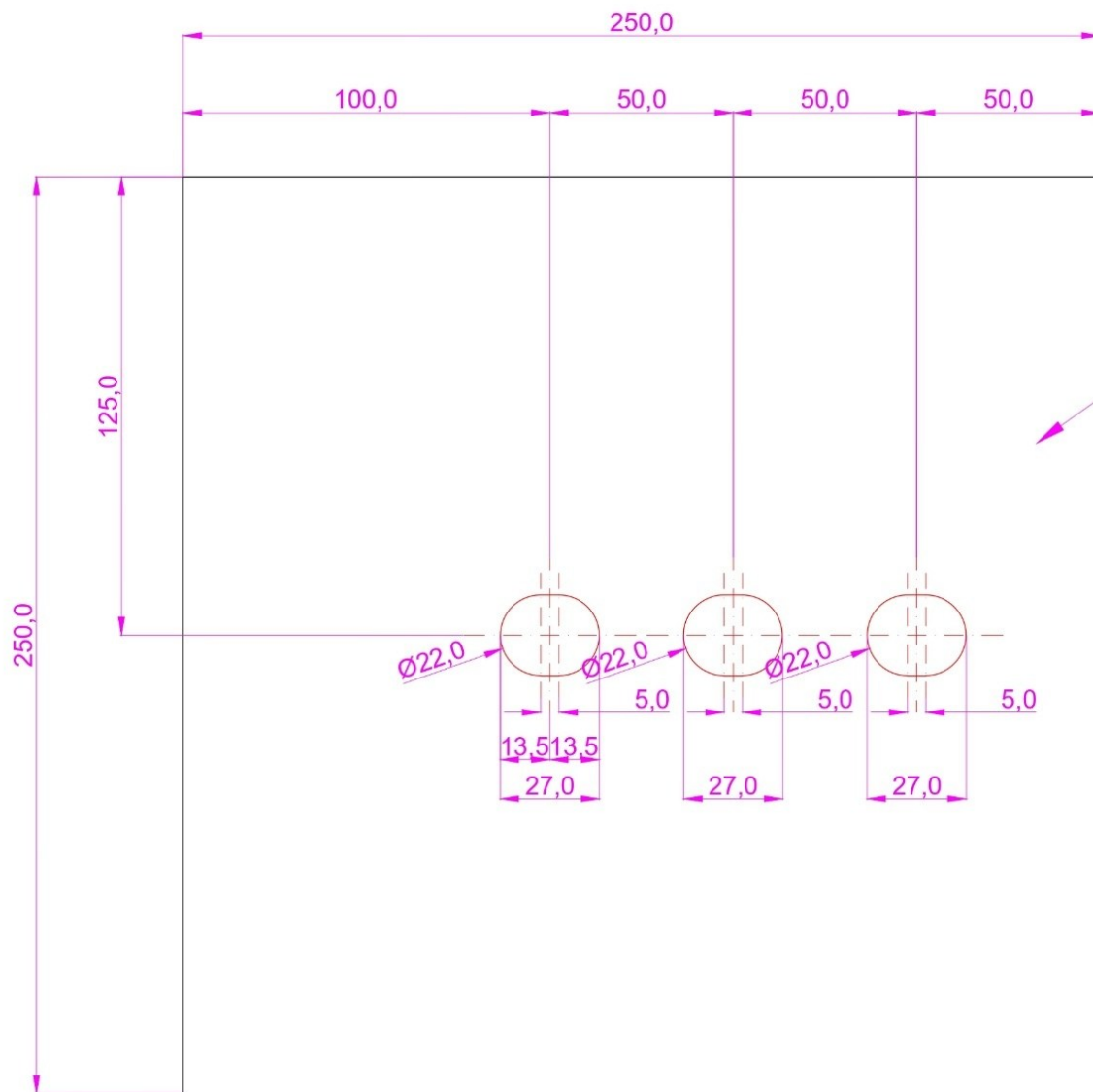
### Poznámky:

Celkem 2 kusy.  
Výroba z nově zakoupeného  
materiálu



Vypracoval: Bc. Miloš Šula	Kontroloval:	Dopravní fakulta Jana Pernera	
Příložený plech kolejnice 2		Datum:	28.3.2024
		Formát:	A4
		č. výkresu:	7b
		Měřítko: 1:2	Pravoúhlé promítání: ISO E



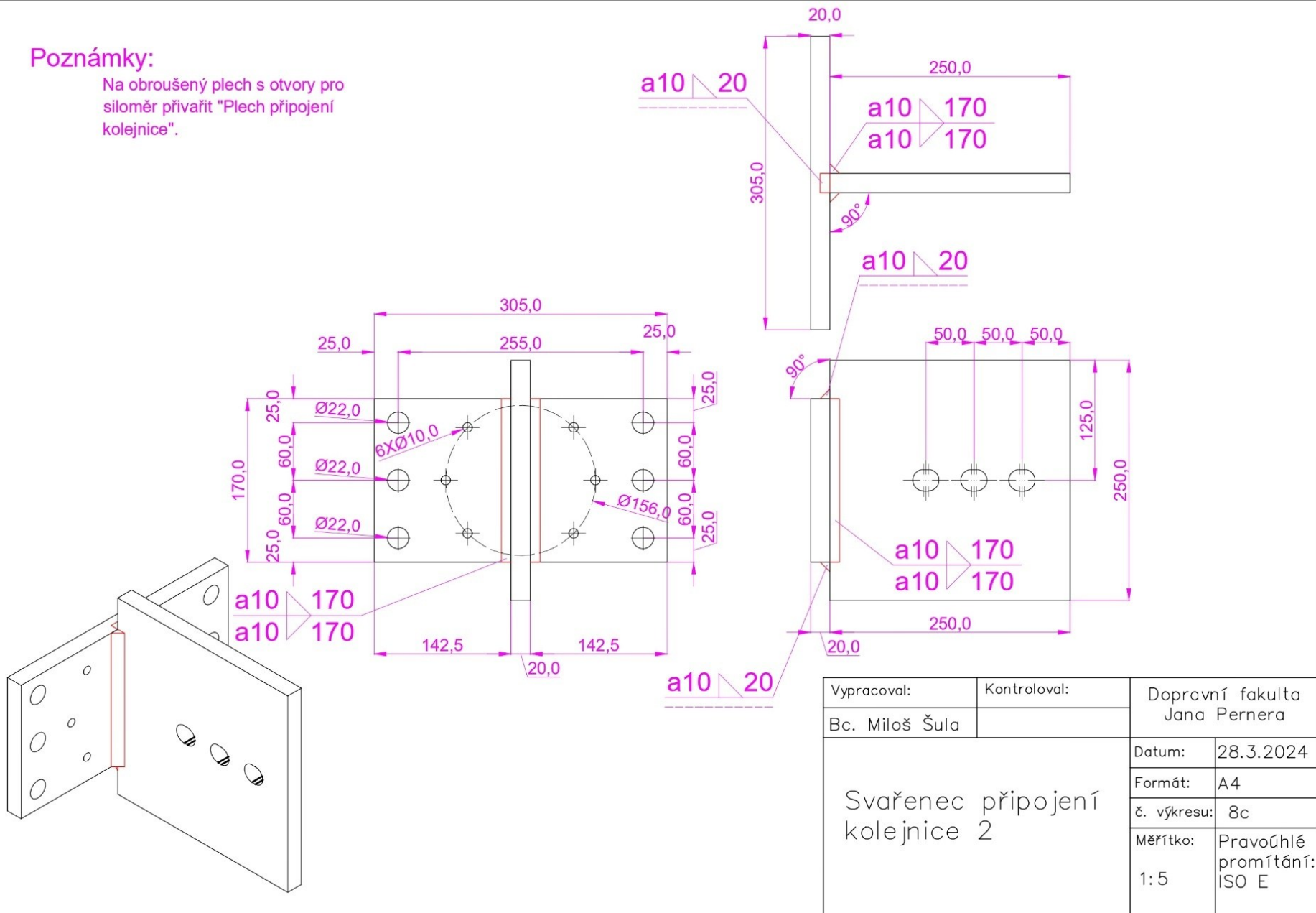


TL. 20

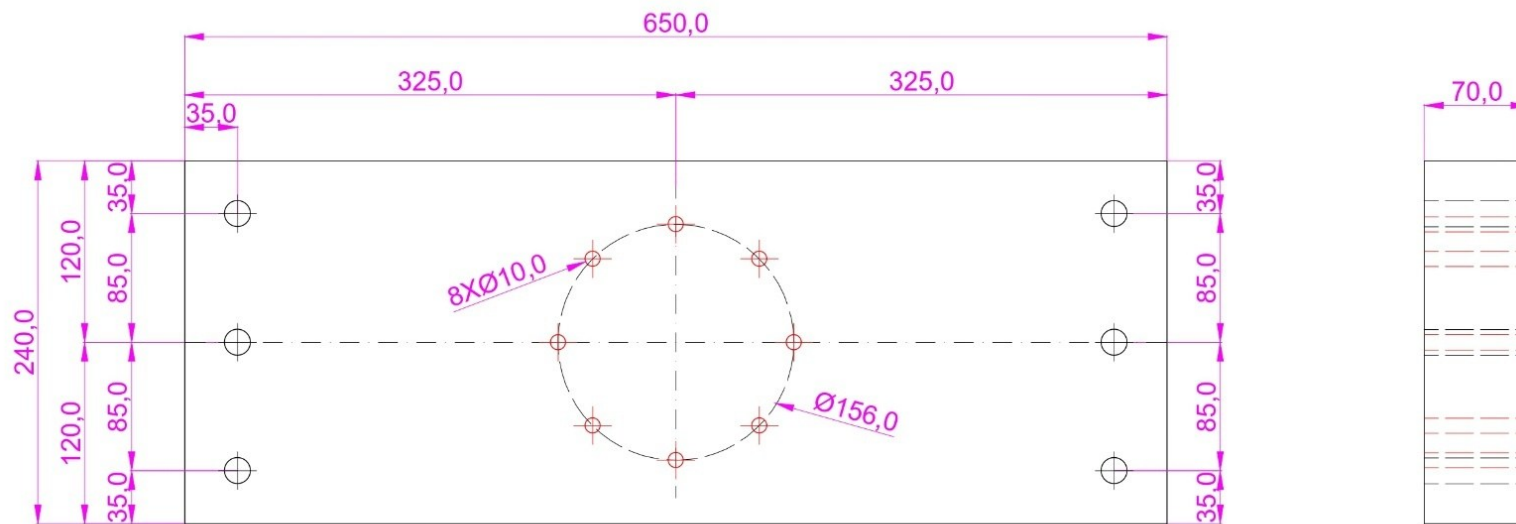
Vypracoval: Bc. Miloš Šula	Kontroloval:	Dopravní fakulta Jana Pernera	
Plech připojení kolejnice		Datum:	28.3.2024
		Formát:	A4
		č. výkresu:	8b
		Měřítko: 1:2	Pravoúhlé promítání: ISO E

**Poznámky:**

Na obroušený plech s otvory pro siloměr přivařit "Plech připojení kolejnice".



Vypracoval: Bc. Miloš Šula	Kontroloval:	Dopravní fakulta Jana Pernera	
Svařenec připojení kolejnice 2		Datum:	28.3.2024
		Formát:	A4
		č. výkresu:	8c
		Měřítko: 1:5	Pravoúhlé promítání: ISO E



Vypracoval:	Kontroloval:	Dopravní fakulta Jana Pernera	
Bc. Miloš Šula		Datum:	28.3.2024
Plech vetknutí		Formát:	A4
		č. výkresu:	9
		Měřítko:	Pravoúhlé promítání: ISO E
1:5			

**Příloha 39 Náhledy 3D modelu Experimentální sestavy**

